ÓRGANO DE DIVULGACIÓN DE LAS DIVISIONES DE INGENIERÍA, CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Y CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

EPISTEMUS

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD

ISSN: 2007-4530

UNIVERSIDAD DE SONORA, JUNIO 2014, NÚMERO 16



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Ingeniería y Sustentabilidad: Análisis y Simulación

Indexada en:



ÍNDICE DE REVISTAS LATINOAMERICANAS EN CIENCIAS PERIÓDICA



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

UNIDAD REGIONAL CENTRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

Programa de Doctorado y Maestría en Ciencia de Materiales

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa es formar personal de alto nivel académico y con autonomía para llevar a cabo en forma eficiente las actividades de generación, aplicación y difusión de conocimiento de frontera en el área de Ciencia de Materiales.

Los objetivos específicos son contribuir a la formación de los recursos humanos especializados que el país requiere en Ciencia de Materiales. Desarrollar investigación de alto nivel comprobada a partir de publicaciones científicas de calidad. Participar de manera efectiva en la resolución de problemas tecnológicos que se presenten en el medio social y productivo de la región y el país, en el ámbito de las líneas de investigación del programa.

Programa de Doctorado y Maestría en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Química

Objetivos del Programa

Formar académicos y profesionales del más alto nivel en ingeniería y sus campos afines, útiles a la sociedad. Promover la práctica profesional de calidad en ingeniería y campos afines. Contribuir a la solución de problemas nacionales. Realizar investigación para generar nuevos conocimientos, métodos y criterios en ingeniería y sus campos afines. Desarrollar tecnología.

Programa de Posgrado en Ingeniería Industrial

Objetivos del Programa

El objetivo general es formar recurso humano orientado a entender, analizar y resolver problemas complejos dentro de organizaciones dedicadas a la producción de bienes o servicios.

Los objetivos específicos son profundizar en el estudio de áreas de interés de la Ingeniería Industrial, acorde a las necesidades que se deseen resolver por parte de la institución y de la sociedad. Hacer énfasis en la aplicación del conocimiento y la tecnología para resolver problemas que afectan la calidad y productividad de las organizaciones que producen bienes o prestan servicios. Impulsar la mejora de la eficiencia y eficacia de las organizaciones sobre todo aquellas consideradas como pequeñas y medianas (PYMES) que permita impulsar el desarrollo del estado y del país.

Programa de Posgrado en Ciencias de la Ingeniería: Ingeniería Civil

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa es formar personal del más alto nivel académico y profesional en el campo de la Construcción y la Valuación, capaz de realizar investigación para generar nuevos conocimientos o desarrollos que contribuyan a la solución de problemas de interés regional y nacional.

Programa de Especialidad en Desarrollo Sustentable

Objetivos del Programa

Formar profesionales con una perspectiva integral de las áreas técnica, administrativa, económica, social, ambiental y ética de acuerdo a los modelos modernos del desarrollo

Programa de Maestría en Sustentabilidad

Objetivos del Programa

El objetivo general del programa de maestría es coadyuvar con la sociedad en la transición hacia estilos de vida más sustentables, mediante la formación de profesionistas con una perspectiva holística y ética; con los conocimientos y habilidades para planear, implantar y evaluar intervenciones que conlleven a prevenir, eliminar y/o reducir los riesgos e impactos ambientales y ocupacionales en el área de su profesión y/o desarrollo en beneficio de su comunidad.



http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 5M, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-57 y 259-21-58



CONTENIDO

EPISTEMUS

UNIVERSIDAD DE SONORA

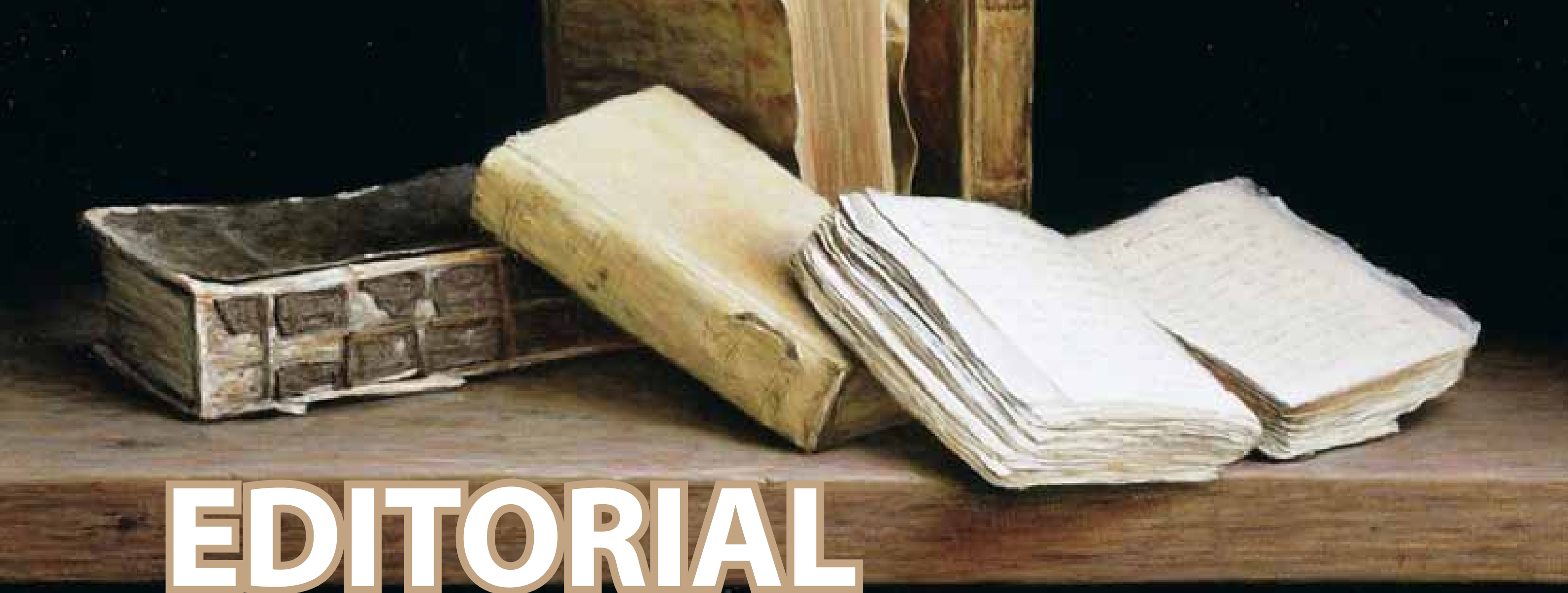
EPISTEMUS. Año 8, No. 16, enero-junio 2014, es una publicación semestral arbitrada y es editada por la Universidad de Sonora a través de las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud. Blvd. Luis Encinas y Blvd. Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo Sonora; Tel. (662) 2592105, (662)2592183 ext. 2650, www.epistemus.uson.mx, revista.epistemus@correom.uson.mx. Editor ejecutivo: Dr. José Luis Díaz Gómez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2012-101210334800-102. ISSN: 2007-4530 otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Certificado de Licitud de Título y Contenido: 15747, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Color Express de México, S. A. de C. V., 12 de octubre No. 130, Col. San Benito, C.P. 83190, Hermosillo, Sonora; este número se terminó de imprimir el 30 de junio de 2014, con un tiraje de 1000 ejemplares.

Información del contacto institucional de la publicación: Universidad de Sonora, Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Col. Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel. (662)2592155, correo electrónico: revista.epistemus@correom.uson.mx, At'n. Dr. José Luis Díaz Gómez, Editor ejecutivo.

EPISTEMUS está Indexada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias.

REVISTA EPISTEMUS
Universidad de Sonora
Unidad Regional Centro, Blvd. Luis Encinas y
Rosales, s/n, Col. Centro, C.P. 83000,
Hermosillo, Sonora, México.
Teléfono: (662) 2592155.
Correo: revista.epistemus@correom.uson.mx
Atn. Dr. José Luis Díaz Gómez
Editor Ejecutivo





EDITORIAL

La Universidad de Sonora, con el propósito de obtener mayor presencia entre las publicaciones científicas nacionales e internacionales, publica los alcances recientes de ciencia, tecnología y salud, y ha decidido que su revista EPISTEMUS tenga registro para Internet (WEB), ISSN: 2007-8196.

La Institución a través de la revista EPISTEMUS se complace en ofrecer una serie de artículos realizados por algunos de sus colaboradores o autores externos, quienes a monto personal discurren sobre temas de gran importancia, tanto académica como institucional, cuya característica es la diversidad de enfoques y posturas que suelen asumir tanto desde el punto de vista teórico como práctico, frente a las cuales se abren innumerables posibilidades académicas. Al procurar mantener la calidad científica, EPISTEMUS ha invitado a destacados investigadores de las diferentes áreas de las Ciencias Exactas y Naturales, de la Ingeniería, y de la Salud a ser parte de sus comités Editorial y Científico, quienes se aseguran que los artículos sean resultados originales de una investigación o inéditos en el caso de los artículos de divulgación.

En la nueva etapa de la revista EPISTEMUS se ha planteado el compromiso de convertirla en una plataforma de difusión de la Ciencia, la Tecnología y la Salud, cuidando no sólo la forma de los artículos que ahí se publican, sino también el fondo de los mismos. La estructura que se sigue desde que se recibe el flujo de documentos de diversa procedencia e índole, hasta que se publican, incluye la evaluación de árbitros externos e internos a la institución, buscando a los mejores especialistas en cada área, para una vez evaluados y reformados por los autores, pasen a la etapa de corrección de estilo. Con ello, se busca asegurar la calidad con que aparecerán las contribuciones.

En esta edición se hace entrega del Volumen 16, que contiene un total de 12 artículos, de los cuales seis son de investigación, uno desde la academia, tres de política de ciencia y tecnología, y dos más de ciencia, tecnología y sociedad.

En la sección de Investigación se abordan los temas: Síntesis y caracterización de nuevas nanopartículas de derivados de PBLG para su uso en Nanomedicina; Diseño de controladores P, PI y PID del comportamiento dinámico de un servo-sistema hidráulico, basado en desarrollo experimental; Cambio en azúcares fermentables en la remolacha azucarera almacenada en atmósferas aerobia y anaerobia durante la producción de etanol; Optimización del proceso de germinación de Salicornia Bigelovii tratadas con soluciones salinas; Recursos florísticos de la Cuenca Baja del Río Mayo, Sonora; Determinación de enfermedades parasitarias en población infantil de Primer a Cuarto grado de Educación Primaria en un ejido del Sur de Sonora.

En la sección Desde la Academia se publica el artículo: Simulación y modelación de problemas de optimización del Cálculo Diferencial con la hoja de cálculo.

En la sección de Políticas de Ciencia y Tecnología se incluyen los artículos: El EEnG como método alternativo no invasivo en el registro de la actividad intestinal. Prácticas dirigidas a la mejor usabilidad del software, y Cámara de irradiación UV-C económica y sus potenciales aplicaciones en la desinfección de alimentos.

En la sección llamada Ciencia, Tecnología y Sociedad se abordaron los temas: Alfabetización ambiental en estudiantes de Ingeniería de la Universidad de Sonora, y Factores relevantes de la complejidad en el proceso de remanufactura: caso de la industria metalmecánica.

Esperamos que esta edición sea de su interés y les recordamos que pueden consultar la versión electrónica de la revista en la página web: http://www.epistemus.uson.mx.

BASES PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN EPISTEMUS

PARA PARTICIPAR CON ARTÍCULOS O COLABORACIONES EN LA REVISTA EPISTEMUS

La educación, la ciencia y tecnología son consideradas como pilares fundamentales sobre los que se sustenta el desarrollo de un país; por eso es importante fortalecer el enlace entre los que generan el conocimiento y los beneficiados de ello: la sociedad. Uno de los aspectos que distingue a la Universidad de Sonora es la generación de conocimiento y su impacto en la sociedad. Es así como las Divisiones de Ingeniería, Ciencias Exactas y Naturales y Ciencias Biológicas y de la Salud crearon el proyecto editorial Epistemus el cual, constituye un medio de información y comunicación para dar a conocer las investigaciones realizadas o en proceso, las actividades académicas, las reflexiones en torno a la ciencia y tecnología, la cultura científica y la sociedad, proyectos de vinculación y extensión de la cultura y los servicios.

OBJETIVO

Divulgar el conocimiento que se crea, genera y enseña en la Universidad de Sonora con la finalidad de fortalecer la educación, la cultura científica, tecnológica y de la salud de los diversos sectores de la sociedad.

ÁREAS GENERALES DE CONOCIMIENTO

- Ingenierías: materiales, metalurgia, civil, minas, industrial, ambiental, hidráulica, sistemas de información, mecatrónica, alimentos, energía, agua, entre otras.
- Ciencias exactas y naturales: geología, física, matemáticas, electrónica y ciencias de la computación.
- Ciencias biológicas y de la salud: investigación en alimentos, desarrollo regional, acuacultura, salud, biología, agricultura, entre otras.

DIRIGIDA A

Los Sectores relacionados con la educación y la investigación, empresarios, dependencias gubernamentales, estudiantes de nivel medio superior, superior y posgrado, y sociedad en general.

CONTENIDO DE LA REVISTA

Artículos originales e inéditos de proyectos de investigación, reseñas, ensayos, información sobre ciencia y tecnología, eventos relevantes, convocatorias, noticias sobre educación y cultura.

ENFOQUE DE LOS ARTÍCULOS

- Los artículos reflejarán lo más trascendente de la producción académica, los proyectos de ciencia, tecnología y sociedad que se realizan en la universidad y en particular en las tres divisiones académicas.
- Los artículos deberán de hacer mención de la trascendencia de lo expuesto, su impacto en la solución de problemáticas específicas de la sociedad, del sector industrial, de la educación, de la cultura, entre otras.
- Se incluirán artículos que integren y reflexionen en torno a la ciencia, la tecnología y la sociedad, que aporten elementos precisos que permitan profundizar en el análisis y proponer esquemas de colaboración entre los que producen el conocimiento y los beneficiarios o usuarios potenciales.
- El lenguaje escrito debe ser de buen nivel, con el rigor científico pero de divulgación, comprensible para un público no especializado de nivel bachillerato, empresarios y profesionistas de otras especialidades.

ARBITRAJE

La revista es arbitrada en varios niveles. Comprende dos aspectos:

- Arbitraje académico: En todos los casos, los artículos serán arbitrados por pares académicos internos y/o externos a la Universidad de Sonora.
- Arbitraje de divulgación: Se evaluará el lenguaje y el significado de lo expuesto para que no pierda la idea original al tratarlos como artículos de divulgación. Participan en el arbitraje de académicos, expertos en divulgación científica.

* Se les sugerirán adecuaciones y modificaciones para que sean tomadas en cuenta por los autores. En todos los casos se definirán los tiempos para las correcciones.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ARTÍCULOS

Recepción

El artículo deberá ser original e inédito y se hará llegar de manera electrónica al correo: revista.epistemus@correom.uson.mx. Los autores deberán firmar y enviar una carta de originalidad junto con el artículo al Comité Editorial (descargar carta). El comité editorial hará una primera revisión del artículo, si cumple con el formato de la revista, se enviará al menos a 2 árbitros académicos. Los arbitrajes se enviarán a los autores, quienes reenviarán los artículos corregidos. El comité editorial decidirá qué artículos se publicarán en cada número. Los autores de los artículos aceptados, deberán firmar una carta de cesión de derechos de autor y enviarla por e-mail al comité editorial.

Título

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, negrita espacio sencillo, centrada.

Autores, grado académico, afiliación, correo electrónico

Incluir los datos curriculares de los autores, especificando su grado académico, institución para la cual labora y correo electrónico. Respecto a los autores, el primero será el autor y el resto serán coautores, siendo un máximo de cinco personas. No se aceptará la inclusión de nuevos coautores después de la recepción del artículo.

Resumen

Los artículos deberán contener un resumen de un máximo de 150 palabras, con letra cursiva. En los artículos de investigación, el resumen será en el idioma español y en el inglés.

Palabras clave

Incluir de 3 a 5, palabras clave separadas por comas. En los artículos de investigación, las palabras claves serán en el idioma español y en el inglés.

Contenido

Utilizar letra tipo Arial de 12 puntos, normal, a doble espacio, justificada. La extensión de los artículos será de un máximo de 3,300 palabras y, hasta 15 páginas incluyendo el texto, figuras y citas bibliográficas, en Word con márgenes de 2.5 cm por lado. Los ensayos, reseñas e información de eventos académicos serán de un máximo de 1,500 palabras. Para las expresiones matemáticas debe usarse el editor de ecuaciones y deberán estar numeradas consecutivamente entre paréntesis. No incluir notas en pie de página.

Secciones

El autor señalará en qué sección de la revista desea se publique su artículo (descargar secciones). Cuando la colaboración sea en la modalidad de ensayo, hacer uso de subtítulos que faciliten la lectura del texto.

Tablas, fotos, figuras

Incluir las tablas, fotos y gráficos en archivos separados. Fotos y gráficos en jpg o tiff con una resolución máxima de 1200 pixeles.

Referencias bibliográficas

Las referencias en el texto del artículo deberán ser numeradas, entre corchetes rectangulares, tal y como vayan apareciendo en su documento. El formato de las referencias será de acuerdo al estilo IEEE (descargar formato IEEE).

FECHAS DE RECEPCIÓN DE ARTÍCULOS

- Los artículos se reciben durante todo el año.
- Cierre de la edición del primer número del año: Primera quincena de marzo.
- Cierre de la edición del segundo número del año: Primera quincena de septiembre.
- Impresión y distribución: Junio y Diciembre de cada año

Mayores informes al correo y página Web
revista.epistemus@correom.uson.mx
www.epistemus.uson.mx

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NUEVAS NANOPARTÍCULAS DE DERIVADOS DE PBLG PARA SU USO EN NANOMEDICINA

MARÍA ELISA MARTÍNEZ BARBOSA*, AN YOUNG S. TAYLOR CASTILLO, HERIBERTO ACUÑA CAMPA, LILIAN ARELY CARRASCO COTA

RESUMEN

En este trabajo se describe la realización de la síntesis y caracterización de cinco derivados de poli-L-glutamato de gamma-bencilo (PBLG) por polimerización aniónica de apertura de anillo utilizando iniciadores de interés biomédico, así como la preparación y caracterización de nanopartículas poliméricas preparadas usando los polímeros sintetizados. Los polímeros fueron caracterizados por resonancia magnética nuclear (RMN 1H) y cromatografía de exclusión de tamaño (GPC/SEC). Las nanopartículas fueron preparadas por nanoprecipitación y caracterizadas por microscopía electrónica de transmisión (MET) y dispersión de luz (DLS/DDLS). Como se requiere para aplicaciones en nanomedicina, nanopartículas en el intervalo de 20 a 50 nm fueron obtenidas. Por otro lado, se presenta la técnica de dispersión de luz depolarizada (DDLS), como una técnica interesante para la caracterización morfológica y comportamiento dinámico de las nanopartículas poliméricas, en suspensión acuosa.

Palabras-clave: PBLG, nanopartículas poliméricas, nanomedicina, GPC/SEC, MET, DLS, DDLS.

ABSTRACT

The synthesis and characterization of five derivatives of poly-gamma-benzyl-L-glutamate (PBLG) by anionic ring opening polymerization using initiators of biomedical interest was carried out, as well as the preparation and characterization of polymeric nanoparticles made from the synthesized polymers. Polymers were characterized by 1H nuclear magnetic resonance (1HRMN) and size exclusion chromatography (GPC/SEC). Nanoparticles were prepared by nanoprecipitation and characterized by transmission electron microscopy (TEM) and light scattering (DLS/DDLS). As required for nanomedicine applications, nanoparticles between 20-50 nm were obtained. Moreover, static light scattering becomes an interesting technique to characterize the morphology and dynamic behavior of polymeric nanoparticles, in aqueous suspension.

Keywords: *PBLG, polymeric nanoparticles, nanomedicine, GPC/SEC, TEM, DLS, DDLS.*

DRA. MARÍA ELISA MARTÍNEZ BARBOSA
Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora
Correo: memartinez@polimeros.uson.mx
M.C. AN YOUNG S. TAYLOR CASTILLO
Posgrado en Ciencia de Materiales, Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora
Correo: anysa.87@gmail.com

DR. HERIBERTO ACUÑA CAMPA
Departamento de Física, Universidad de Sonora
Correo: hacuna@correo.fisica.uson.mx
M.C. LILIAN ARELY CARRASCO COTA
Posgrado en Ciencia de Materiales, Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora
Correo: liliana.carrascoc@correoa.uson.mx

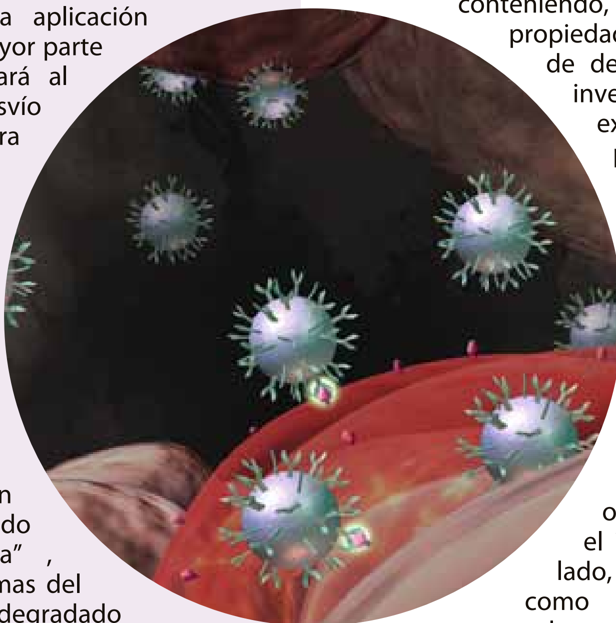
*Autor para correspondencia: María Elisa Martínez Barbosa
Correo electrónico: memartinez@polimeros.uson.mx
Recibido: 25 de marzo de 2014
Aceptado: 02 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos de la investigación en nanomedicina es reducir los efectos secundarios y aumentar la eficacia de los fármacos administrados. Es aquí donde la ingeniería de nanomateriales tiene un papel fundamental para lograr llevar al fármaco sólo al sitio requerido del organismo, ya sea un órgano específico, una célula e inclusive, un compartimento subcelular.

Sabemos que una vez administrado un medicamento clásico, por vía oral o parenteral (intravenosa, intramuscular, subcutánea), éste se difunde en todo el organismo y solamente una pequeña cantidad llega al sitio requerido, lo que genera toxicidad y efectos secundarios. Para resolver dicha problemática, una de las ideas de investigación en este campo consiste en incorporar el fármaco en sistemas llamados "nanovectores" o "nanoacarreadores" cuyas propiedades y características son moldeadas y estudiadas de acuerdo a la aplicación requerida. De esta manera, la mayor parte del fármaco administrado llegará al sitio deseado, reduciendo su desvío a sitios en los cuales se considera tóxico.



Una vez administrado en el organismo, un vector o acarreador de fármacos debe asegurar una gran diversidad de funciones y propiedades específicas, como: presentar la mayor capacidad posible de encapsulación del fármaco, evitar las interacciones no deseadas en el organismo, lograr que el fármaco sea liberado sólo en el sitio requerido "fármaco dirigido a diana- liberación controlada" , proteger al fármaco de las enzimas del cuerpo humano evitando que sea degradado antes de actuar, ser degradable o permitir la fácil eliminación después de haber realizado su función, entre otras. Para responder a todos estos requerimientos, durante los últimos años se han dirigido grandes esfuerzos a la concepción de diferentes sistemas vectores, en particular a los que presentan tamaños inferiores al micrómetro, tales como los liposomas, las micelas y más recientemente las nanopartículas (1). Entre estos sistemas de vectorización, las nanopartículas poliméricas presentan ciertas ventajas como: estabilidad, alta capacidad de encapsulación de moléculas terapéuticas, tamaños a escala nanoscópica, así como la posibilidad de modular sus propiedades de superficie. De esta manera, se han preparado diversos sistemas de nanopartículas que presentan diferentes propiedades, a partir de polímeros degradables(2).

Sin embargo, aún se tienen grandes retos en la preparación de sistemas nanovectores que sean capaces de asegurar la presencia simultánea de diferentes propiedades y funciones. En este sentido, se ha encontrado que el poli- L-glutamato de gamma-bencilo, PBLG, es un polímero muy adecuado para la preparación de nanovectores multifuncionales debido a que en su estructura molecular se le pueden colocar moléculas con propiedades específicas (Figura 1). En nuestro caso, hemos sintetizado derivados del PBLG que contienen: a) polietilén glicol (PEG), estas cadenas por su carácter hidrófilo deben colocarse en la superficie de las nanopartículas, lo que permite el aumento del tiempo de residencia en el torrente sanguíneo; b) β-ciclodextrina, la cual posee una muy buena capacidad para formar complejos de inclusión con principios activos poco solubles en sistemas acuosos, lo que aumenta su solubilidad; c) biotina, la cual permite incorporar en la superficie del sistema vector, moléculas de reconocimiento específico en el organismo gracias a interacciones ligando – receptor. Estos derivados han permitido la formulación de nanopartículas poliméricas conteniendo, entonces, moléculas con propiedades específicas. Para este tipo de derivados, se ha encontrado en investigaciones recientes (3-5) que existen ciertos factores, como el peso molecular y composición del polímero, que afectan el tamaño y la morfología de las nanopartículas. Por ello, el presente trabajo consiste en la síntesis y caracterización de una nueva mini biblioteca de derivados del PBLG, en la preparación de una serie de nanopartículas a partir de estos derivados, y un estudio de morfología y tamaño, obteniendo nanopartículas en el intervalo de 20-50nm. Por otro lado, se presenta la técnica de DDLS como una interesante herramienta a explorar para el estudio morfológico y comportamiento dinámico de nanopartículas poliméricas, en suspensión acuosa.

METODOLOGÍA

Síntesis y caracterización de derivados del PBLG

La síntesis de derivados del PBLG se llevó a cabo por polimerización por apertura aniónica del anillo del anhídrido del glutamato de bencilo (γ-BLG-NCA) en dimetilformamida (DMF) a 30 °C, de acuerdo al método descrito por Martínez Barbosa y col. (6). Brevemente: N mmoles de monómero (NCA), ver tabla 1, fueron pesados bajo atmósfera de argón y disueltos en DMF. Posteriormente se agregó una solución de la molécula iniciadora. El peso molecular teórico de cada derivado fue ajustado variando la relación molar de iniciador/ monómero. La evolución de la reacción de polimerización fue seguida por espectroscopía de infrarrojo (Bruker Vector 22). Una vez terminada la reacción de polimerización, la

mezcla de reacción fue precipitada en éter etílico y el producto fue filtrado, para obtener el polímero en forma de polvo. A continuación se realizaron sucesivas etapas de purificación por re precipitación del polímero y filtración. Finalmente el polímero fue secado al vacío al menos durante 12 horas y congelado para su posterior caracterización. El peso molecular de los polímeros fue determinado por RMN ^{1}Hy/o GPC/SEC. Las muestras para RMN ^{1}H se prepararon en una mezcla $CDCl_3$/TFA-d 85/15% v/v y se analizaron en un equipo Bruker B-ACS 60 a 400 MHz. Para los estudios por GPC/SEC se prepararon soluciones al 1% p/v de polímero en LiBr al 0.05 M en DMF. Las muestras fueron filtradas y analizadas a 30 °C con un flujo de 0.5 mL/min en un equipo GPC/SEC 270 MAX-Malvern, equipado con 2 columnas (I-MBHMW-3078). Los estándares utilizados fueron PMMA de 65 000 y 95 000 g mol^{-1}.

Tabla 1. Condiciones de la polimerización de BLG-NCA en DMF a 30°C.

Polímero	$\overline{Mn_t}$ $(gmol^{-1})$	$\overline{Dpn_t}$ $(g\ mol^{-1})$	NCA $(mmol)$	$[M]o$ $(mol\ L^{-1})$	$[I]o$ $(mol\ L^{-1})$	Tiempo de Reacción	Rendimiento (%)
PBLG-Bz	50000	228	7.8	0.5	0.0021	5	73
PBLG-β-CD	50000	228	17.3	0.5	0.0022	8	81
PBLG-PEG	60000	274	7.7	0.015	0.0547	6	66
PBLG-Biotina	50000	228	9.9	0.5	0.0022	6	75
PBLG-PEG-Biotina	50000	228	5.6	0.5	0.0022	7	70

[M]o y [I]o: concentraciones iniciales de NCA e Iniciador, respectivamente. $\overline{Mn_t}$ y $\overline{Dpn_t}$: valores teóricos. Los polímeros fueron denominados como: PBLG-seguido del nombre del iniciador (Bz=bencilamina, β-CD=β-ciclodextrina, PEG=polietilén glicol, PEG-biotina = polietilén glicol-biotina).

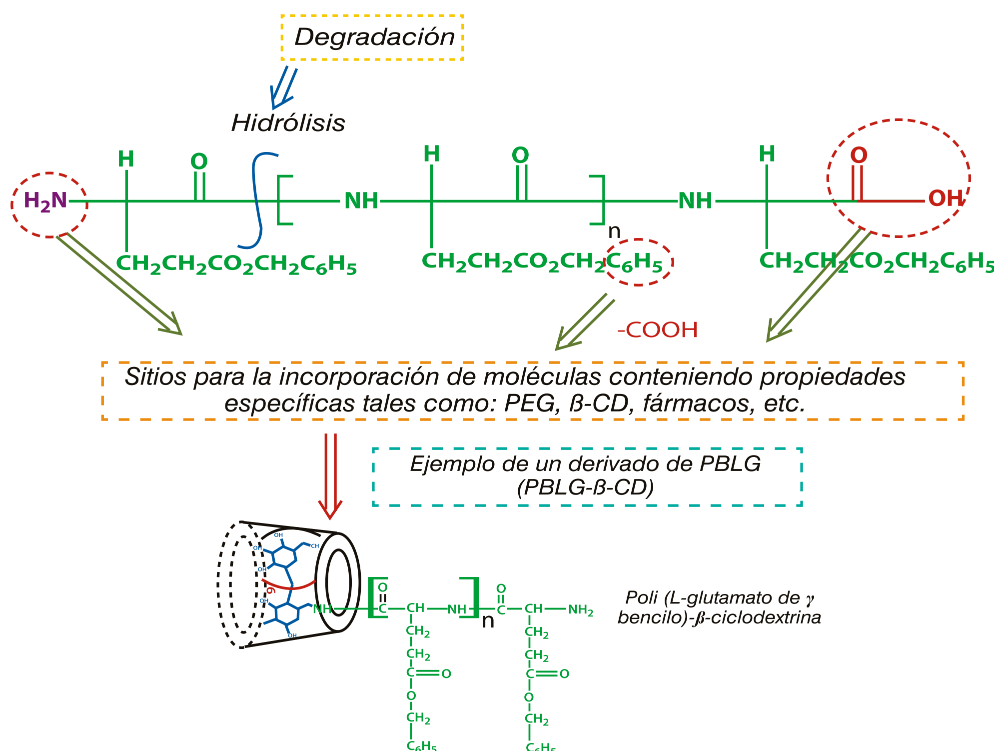


Figura 1. Estructura del PBLG y sus potencialidades.

Preparación de nanopartículas a base de derivados del PBLG

Las nanopartículas poliméricas fueron preparadas utilizando una modificación del método de nanoprecipitación (6,7). Brevemente, 5 mL de solución de polímero disuelto en THF se añadieron por goteo a 10 mL de una solución 0.125% m/v de Lutrol® F68. La mezcla fue posteriormente trasladada a un recipiente recubierto de Teflon® para evaporar el disolvente a 30 °C, bajo flujo de aire. Las nanopartículas fueron lavadas con 5 mL de agua Milli-Q y la evaporación se llevó a cabo hasta ajustar el volumen a 10 mL. Las nanopartículas se conservaron a 4 °C hasta su posterior caracterización.

Dispersión de luz

Para este estudio se analizaron las nanopartículas poliméricas en suspensión acuosa en dos equipos diferentes: 1) 3D LS Spectrometer (LS Instruments), en el cual para los 7 sistemas preparados se hicieron mediciones a un ángulo de dispersión de 90 grados analizando la función de correlación de intensidades a través de cumulantes (8,9), y mediante análisis con CONTIN, para la distribución de tamaños, 2) ALV-5000/E, en el cual fue analizada la muestra E1 con un arreglo de polarización VH en un intervalo angular de 30-75 grados con el fin de determinar anisotropía geométrica de la muestra analizada.

Microscopía electrónica de transmisión

Las nanopartículas se analizaron mediante MET, lo que nos permitió observar morfología y tamaño. Para ello: 5 µL de suspensión de nanopartículas fueron depositadas durante 5 minutos en una rejilla de cobre cubierta con carbono-formvar. Posteriormente se retiró el exceso de la muestra y se realizó una tinción negativa agregando una gota de ácido fosfotúngstico al 1%. Se dejó secar la muestra a temperatura ambiente. Posteriormente la rejilla se conservó al vacío durante 12 horas. Las muestras fueron observadas a través de un microscopio electrónico de transmisión, JEOL 1400 (120 kV) o JEOL JEM-2010F (200kV).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Síntesis y caracterización de derivados del PBLG

En el presente trabajo se realizó la síntesis de una mini-biblioteca de derivados del poli(γ-bencil-L-glutamato), la cual incluye PBLG-Bz, PBLG-β-CD, PBLG-biotina, PBLG-PEG, y PBLG-PEG-biotina. En la tabla 1 se puede observar que se obtuvieron rendimientos entre el 70 y 80%. Dichas polimerizaciones fueron anteriormente publicadas entre el 70 y 98% de rendimiento (6). Esta disminución en el porcentaje de rendimiento puede atribuirse a una pérdida de producto al aumentar las etapas de purificación. En la tabla 2, se muestran los resultados obtenidos para la determinación del peso molecular de los diferentes derivados. Los espectros de RMN ^{1}H (en ppm) se presentan en la figura 2. Como ejemplo citamos aquí las señales para el PBLG-PEG: CH, 3.98; CH, 2.18–2.58; CH_2, 5.12; CH_{arom}, 7.26; CH_2PEG, 3.76. Los datos concuerdan con lo reportado en la literatura (6,10). El ligero corrimiento en ciertas señales es atribuido al cambio de solventes para el análisis, el cual permitió una mayor resolución en los espectros. El grado de polimerización del segmento del PBLG, en los derivados PBLG-PEG y PBLG-PEG-biotina, fue determinado por la relación entre las intensidades de los picos de los protones del metileno en la cadena de PEG, OCH_2CH_2, y de los protones del grupo bencílico de la cadena de PBLG,



$COOCH_2C_6H_5$. Sin embargo, como puede observarse en la tabla 2, no fue posible realizar la determinación de los pesos moleculares por RMN ^1H para los otros derivados del PBLG debido a que es difícil localizar las señales de las moléculas de iniciador por la presencia de otras señales en la misma región. Es importante mencionar que en el presente trabajo se logró la caracterización de estos derivados del PBLG por GPC/SEC. A diferencia del trabajo realizado anteriormente (6,10) donde se utilizó THF, los estudios del presente trabajo se realizaron en DMF con LiBr 0.05 M. En la tabla 2 se puede observar que para todos los casos se obtuvieron pesos moleculares muy cercanos a los pesos moleculares teóricos.

Tabla 2. Características de los polímeros obtenidos por polimerización por apertura de anillo del γ-BLG-NCA en DMF a 30ºC.

Polímero	$Mw_{(exp)}$ $RMN^{(a)}$ $(g\ mol^{-1})$	$Mw_{(exp)}$ $GPC/SEC^{(b)}$ $(g\ mol^{-1})$	IP GPC/SEC
PBLG-Bz	-	26200	1.159
PBLG-β-CD	-	43900	1.193
PBLG-PEG	48200	59900	1.3
PBLG-PEG-Biotina	46250	45700	1.18
PBLG-Biotina	-	53500	1.205

(a) Caracterización en $CDCl_3$/TFA-d 85/15% v/v, equipo Bruker B-ACS 60 400 MHz. (b) Caracterización en LiBr 0.05 M en DMF, n=3, equipo de GPC/SEC 270 MAX-Malvern.



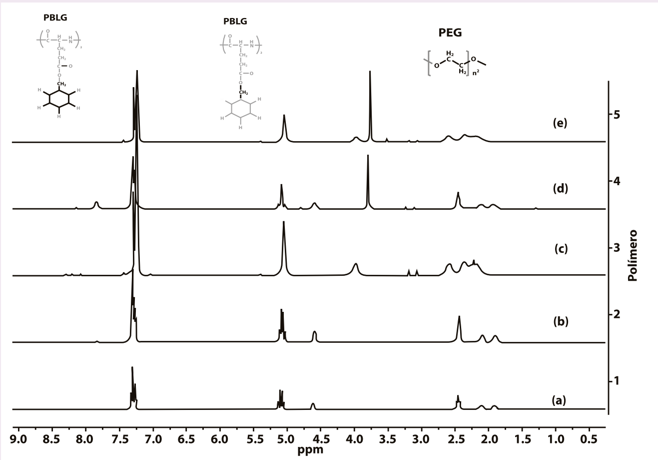


Figura 2. Espectros de RMN ^1H en $CDCl_3$/TFA-d 85/15% v/v para los polímeros (a) PBLG-Bz, (b) PBLG-β-CD, (c) PBLG-biotina, (d) PBLG-PEG-biotina, y (e) PBLG-PEG. Equipo Bruker ABS 60, 400 MHz.

Preparación y caracterización de nanopartículas a base de derivados del PBLG

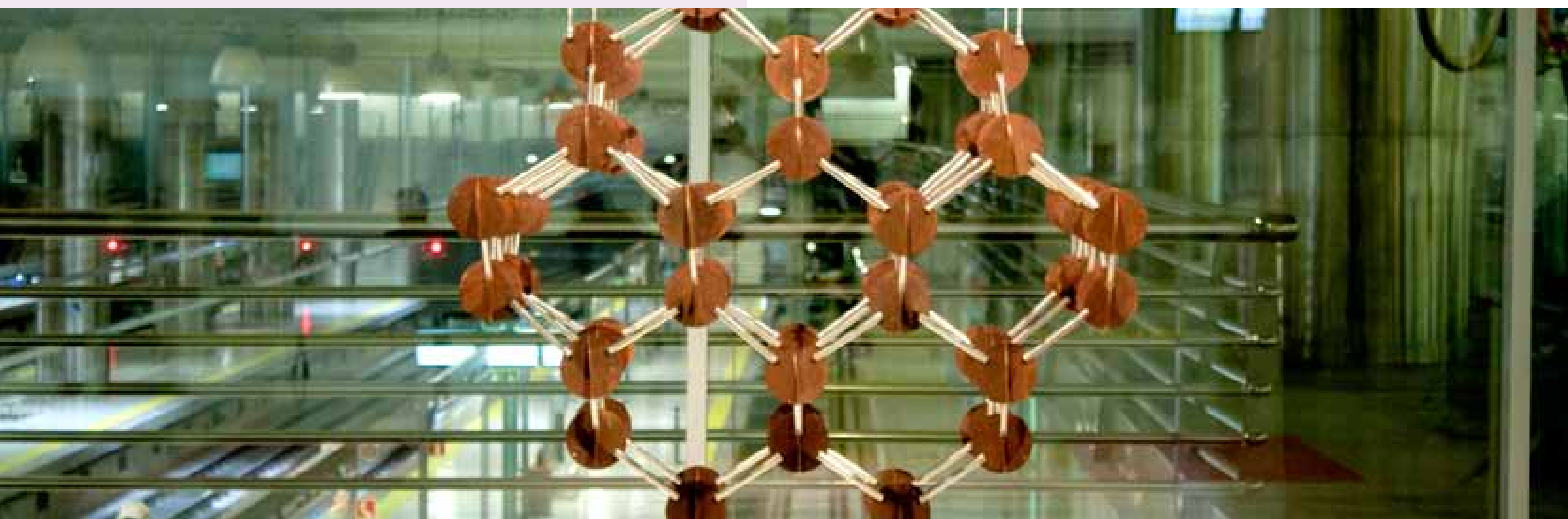
Se obtuvieron sistemas poliméricos nanoparticulados, simples y binarios, a partir de derivados del PBLG, utilizando la técnica de nanoprecipitación adaptada por Martínez Barbosa y col. (6). La composición de los sistemas preparados se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Composición de los sistemas de nanopartículas poliméricas de las diferentes formulaciones a base de derivados de PBLG.

Formulación	Composición
E1	PBLG-β-CD
E2	PBLG-β-CD/PBLG-PEG (70/30 % peso)
E3	PBLG-β-CD/PBLG-Biotina (70/30 % peso)
E4	PBLG-Bz
E5	PBLG-β-CD/PBLG-PEG-Biotina (70/30 % peso)
E6	PBLG-PEG
E7	PBLG-Biotina

Microscopia electrónica de transmisión y dispersión de luz

La técnica de dispersión de luz ha sido muy utilizada para caracterizar forma, tamaño y dinámica de nanopartículas de muy diversa naturaleza química. En el caso de nanopartículas de PBLG, recientemente esta técnica se ha usado para determinar su utilidad en la administración de fármacos orientada a hueso (11). Un aspecto central en la utilidad de estas nanopartículas



radica en el hecho de que para tener posibilidades de ser utilizadas como vectores para administrar fármacos y que no tenga restricciones por tamaño en llegar a los sitios deseados, su tamaño característico deberá estar en el intervalo de 20 – 50 nm.

Para la determinación de la distribución de tamaños, en el presente estudio, se utilizaron dos equipos diferentes. Los resultados para los tamaños característicos determinados en el equipo 3D LS Spectrometer se muestran en la tabla 4. Las distribuciones de tamaño obtenidas con el mismo equipo se presentan en la figura 3. Con el análisis CONTIN se determina la distribución de tamaños, la cual muestra una diferencia en el ancho de la distribución para los sistemas E1, E2 y E5, respecto al resto de los sistemas analizados. Debemos aclarar que los resultados de tamaño de nanopartículas por esta técnica, está basada en un modelo de esfera efectiva. Puede observarse que en todos los casos los tamaños están en el intervalo 20-50 nm, la cual es una característica buscada para su utilidad, como se señaló anteriormente.

Tabla 4. Diámetro de los sistemas preparados, determinados por MET (n=250) y DLS.

	Nanoparticulas	Diámetro (nm) MET	IP MET	Diámetro (nm) DLS
E1	PBLG-β-CD	60 ± 11	0.186	63
E2	PBLG-β-CD/PBLG-PEG	54 ± 08	0.156	51
E3	PBLG-β-CD/PBLG-biotina	59 ± 13	0.216	62
E4	PBLG-Bz	75 ± 11	0.189	90
E5	PBLG-β-CD/PBLG-PEG-Biotina	41 ± 11	0.280	47
E6	PBLG-PEG	40 ± 06	0.153	45
E7	PBLG-biotina	72 ± 18	0.245	56

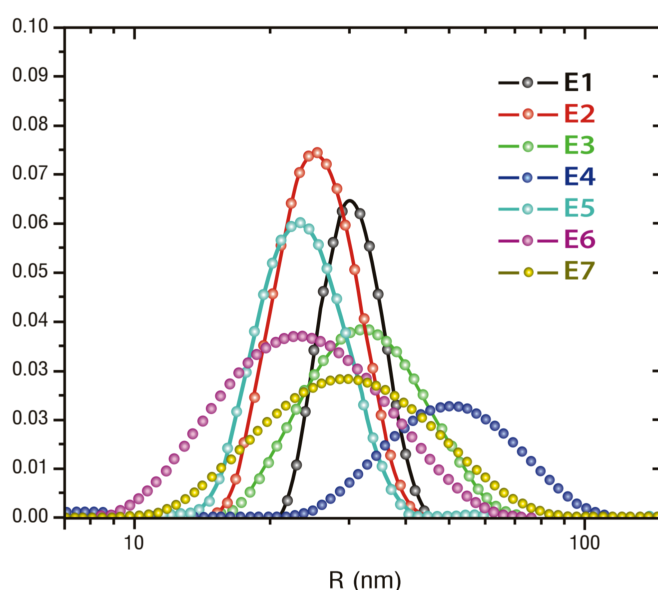


Figura 3. Distribución de tamaños para los sistemas E1 a E7, obtenidas con análisis CONTIN en el equipo 3D LS Spectrometer.

La característica fundamental que marca la diferencia entre los sistemas E1, E2, E3 y E5 (Tabla 3), con respecto al resto de los sistemas estudiados, es que contienen en su formulación β-ciclodextrina. Estudios recientes sobre sistemas nanoparticulados de PBLG han demostrado que tanto la composición de los sistemas (3,4), así como el peso molecular de los polímeros (5) tienen un efecto en la morfología y tamaño de los sistemas nanoparticulados. En la figura 3 podemos ver que los sistemas que contienen β-CD presentan un ancho de distribución de tamaños similar entre sí, a excepción del sistema E3, el cual además contiene PBLG-biotina. En las micrografías obtenidas por MET (Figura 5) podemos observar que los sistemas que contienen β-CD presentan una morfología cuasi-esférica, si los comparamos con el sistema preparado a base de

100% PBLG-Bz, el cual presenta una morfología tendiendo a elipsoidal prolata. Estos resultados son congruentes con lo anteriormente reportado (3,4). En la figura 5 podemos observar también, que el sistema E7, formulado de 100% PBLG-biotina, presenta la coexistencia de estas dos morfologías. En la tabla 4, se presentan los resultados del análisis estadístico de las micrografías de MET. Podemos observar que los sistemas E3 y E7 son los que presentan el más alto índice de polidispersidad, lo cual es concordante con los resultados obtenidos mostrados en la figura 3.

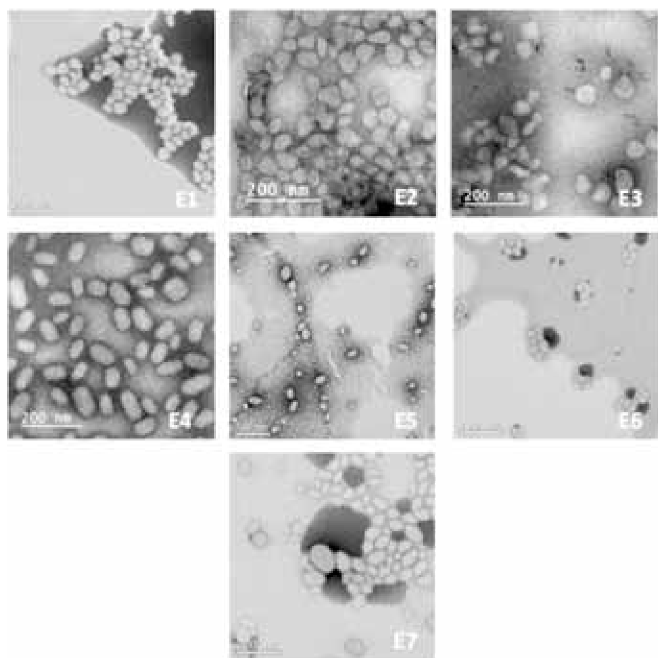


Figura 4.Micrografía de los sistemas nanoparticulados simples a base de: (E1) PBLG-β-CD, (E2) PBLG-β-CD/PBLG-PEG, (E3) PBLG-β-CD/PBLG-biotina, (E4) PBLG-Bz, (E5) PBLG-β-CD /PBLG-PEG-biotin, (E6) PBLG-PEG y (E7) PBLG-biotina.

Por otra parte, hablando de morfología de nanopartículas, la cual es un aspecto importante en la caracterización de este tipo de sistemas, ésta puede establecerse experimentalmente por dispersión estática de luz (SLS) o a través de dispersión de luz depolarizada (DDLS), además de microscopia electrónica de transmisión (MET). Como un ejemplo de aplicación de dispersión de luz depolarizada se utilizó el equipo ALV-5000/E para hacer mediciones con control de polarización de luz dispersada (arreglo VH) para la muestra E1. En este caso la función de correlación del campo eléctrico dispersado es expresada como (12).

$$g_{VH}^{(1)}(q,t) = \frac{\left\langle E^*(q,0)\,E(q,t)\right\rangle}{\left\langle E^2\right\rangle} = e^{-\Gamma_{VH}\,t}$$

con $\Gamma_{VH} = D_t\,q^2 + 6\,D_r$

donde, $q = \frac{4\pi n}{\lambda} sen(\theta/2)$ siendo n el índice de refracción del solvente, λ la longitud de onda de la radiación incidente y θ el ángulo de dispersión. Además, D_t y D_r son los coeficientes de difusión traslacional y rotacional respectivamente.

Como podemos observar en la figura 4, el hecho de que los datos sean ajustables a una recta permiten, a través de la pendiente, obtener el coeficiente de difusión traslacional y el hecho de que prácticamente el corte con el eje esté muy cerca de cero, nos permite asegurar la no contribución del movimiento rotacional.Este coeficiente de difusión traslacional nos permite confirmar el radio hidrodinámico de las nanoparticulas obteniendo R= 30.89 nm (o un diámetro D= 61.78 nm),el cual se encuentra dentro de la banda que cubre el ancho medio en la distribución de la figura 3.

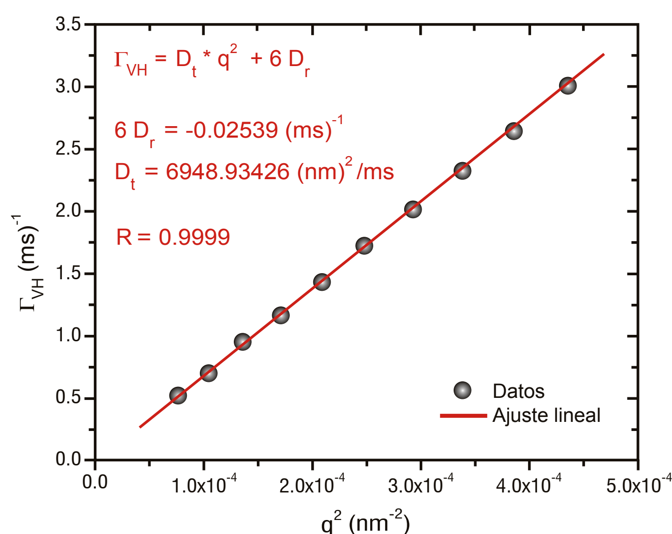


Figura 5. Comportamiento difusivo de las nanopartículas, para el sistema E1.

Estos estudios concuerdan con lo observado por MET para el sistema E1 y nos permiten abrir las puertas para contar con una técnica de caracterización de morfología de estos sistemas nanoparticulados, directamente en el medio de suspensión. Cabe resaltar que falta mucho por estudiar y comprender con respecto al efecto de la forma y tamaño de estos sistemas poliméricos en el organismo. Es por ello que es muy importante ampliar la diversidad de técnicas experimentales que nos permitan caracterizarlos y obtener información complementaria.En un trabajo futuro, se pretende caracterizar por esta técnica la contribución de la parte rotacional en la morfología de las nanopartículas de todos los sistemas preparados y su correlación con los resultados de MET.

CONCLUSIONES

Se obtuvo una nueva minibiblioteca de derivados del PBLG y se prepararon nanopartículas poliméricas tanto para sistemas simples como binarios, los cuales contienen diferentes moléculas de interés biomédico. Las nanopartículas obtenidas presentan tamaños en el intervalo de 20-50 nm, como se requiere para aplicaciones en nanomedicina. Por otro lado, la utilización de dispersión de luz depolarizada (DDLS) abre nuevas perspectivas que no solamente nos proporciona información estructural de las nanopartículas, sino además su comportamiento dinámico.

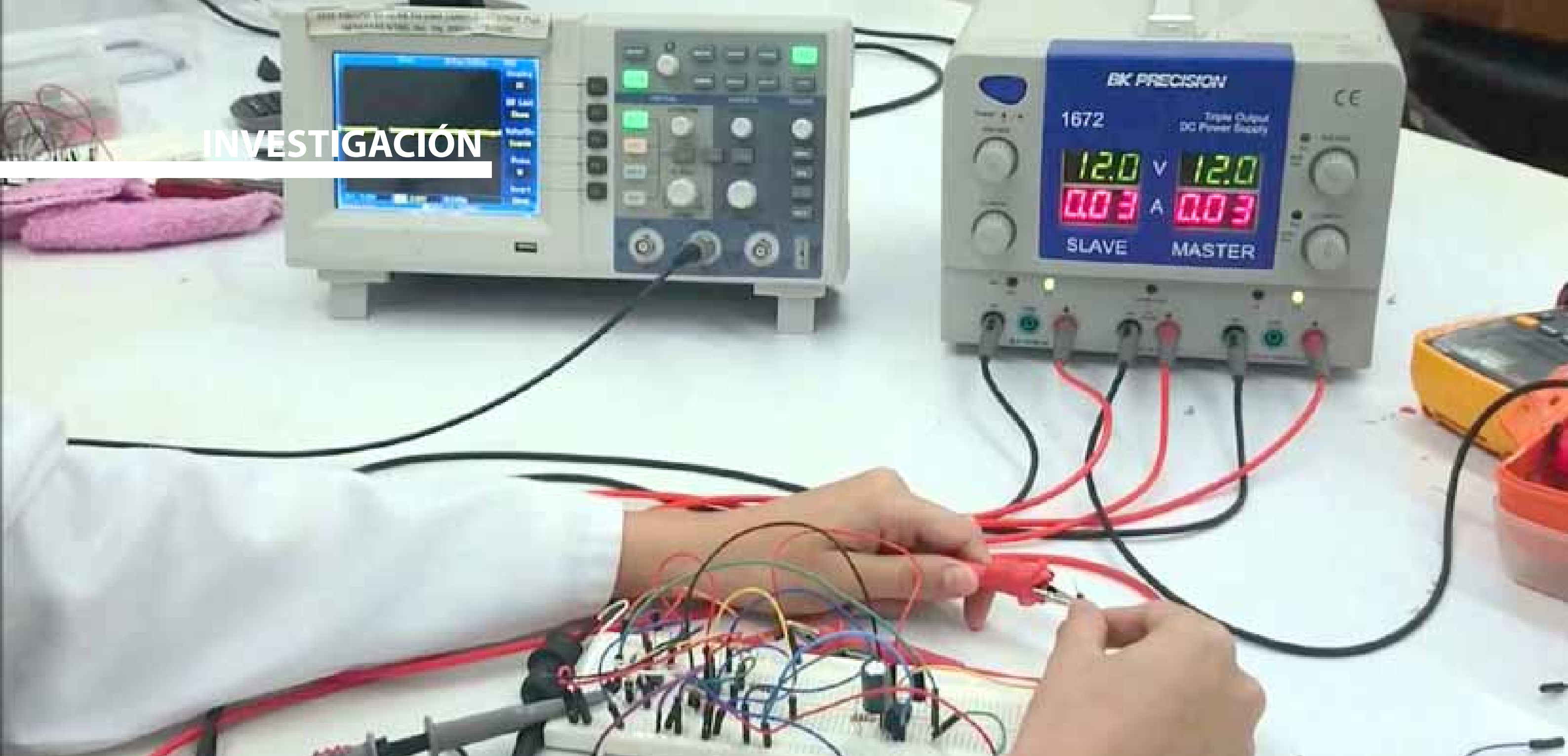
AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el financiamiento obtenido a través del proyecto de CONACyT CB-2008-104931 y mediante el proyecto de la Red Temática de Colaboración Física de la Materia Blanda SEP/Promep, así como a la RED de la Materia Condensada Blanda (CONACyT) y a Fondos PIFI. Además al Dr. José Luis Arauz Lara del Laboratorio de Fluidos Complejos de la UASLP por permitirnos hacer uso sin restricciones del equipo de dispersión de luz, así como al Prof. Gilles Ponchel de la Facultad de Farmacia de la Universidad Paris Sud (UMR CNRS 8612) por el asesoramiento durante la estancia realizada para síntesis de polímeros. Agradecimientos también al Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión de la Universidad de Sonora.

BIBLIOGRAFÍA

1) Elias, F. and Christine, V. (2013). Nanoparticles as Drug Delivery Systems. Encyclopedia of Pharmaceutical Science and Technology, Fourth Edition (Taylor and Francis), Vol. null, pp. 2272-2286.
2) Kumari, A., Yadav, S.K. and Yadav, S.C. (2010). Biodegradable polymeric nanoparticles based drug delivery systems. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 75(1):1-18.
3) Martinez Barbosa, M.E., Bouteiller, L., Cammas-Marion, S., Montembault, V., Fontaine, L. andPonchel, G. (2008). Synthesis and ITC characterization of novel nanoparticles constituted by poly(gamma-benzyl L-glutamate)-beta-cyclodextrin. Journal of Molecular Recognition 21(3):169-178.
4) Martinez-Barbosa, M.E., Cammas-Marion, S., Bouteiller, L., Vauthier, C. andPonchel, G. (2009).PEGylated degradable composite nanoparticles based on mixtures of PEG-b-poly(gamma-benzyl L-glutamate) and poly(gamma-benzyl L-glutamate). Bioconjugate Chemistry 20(8):1490-1496.
5) Cauchois, O., Segura-Sanchez, F. andPonchel, G. (2013). Molecular weight controls the elongation of oblate-shaped degradable poly (γ-benzyl-l glutamate) nanoparticles. International Journal of Pharmaceutics 452(12):292-299.
6) Martínez Barbosa, M.E., Montembault, V., Cammas-Marion, S., Ponchel, G. and Fontaine, L. (2007). Synthesis and characterization of novel poly (gamma-benzyl-L-glutamate) derivatives tailored for the preparation of nanoparticles of pharmaceutical interest. Polymer International 56(3):317-324.
7) Thioune, O., Fessi, H., Devissaguet, J.P. andPuisieux, F. (1997). Preparation of pseudolatex by nanoprecipitation: Influence of the solvent nature on intrinsic viscosity and interaction constant. International Journal of Pharmaceutics 146(2):233-238.
8) Dhont, J.K.G. (1996).An Introduction to Dynamics of Colloids. Elsevier Science B.V.
9) Schartl, W. (2007).Light Scattering from Polymer Solutions and Nanoparticle Dispersions. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
10) Segura-Sánchez, F. et al.(2010). Synthesis and characterization of functionalized poly (γ-benzyl-L-glutamate) derivates and corresponding nanoparticles preparation and characterization. International Journal of Pharmaceutics 387(1-2):9-9.
11) Özcan, İ. et al. (2011). Synthesis and characterization of surface-modified PBLG nanoparticles for bone targeting: In vitro and in vivo evaluations. Journal of Pharmaceutical Sciences 100(11):4877-4887.
12) Bruce, J., Berne, R.P. (1976).Dynamic Light Scattering: with applications to chemistry, Biology, and Physics. John Wiley and Sons, New York.





DISEÑO DE CONTROLADORES P, PI Y PID PARA EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UN SERVO-SISTEMA HIDRÁULICO, BASADO EN DESARROLLO EXPERIMENTAL

MARÍA ELENA ANAYA PÉREZ*, VÍCTOR HUGO BENÍTEZ BALTAZAR, JESÚS HORACIO PACHECO RAMÍREZ, FÉLIX MONTAÑO VALLE

RESUMEN

Este artículo presenta el diseño de controladores Proporcional (P), Proporcional Integral (PI) y Proporcional Integral Derivativo (PID), utilizando modelado matemático, simulación e implementación electrónica del comportamiento dinámico de un servo-sistema hidráulico, a través de la aplicación de la técnica de sintonización de Ziegler – Nichols basada en una metodología experimental para distintos puntos de operación. En la parte experimental de este trabajo son usados instrumentos de medición como *data logger*; la simulación del sistema se lleva a cabo en la plataforma de Matlab®. Además, el software ADAMView® es utilizado en el diseño de tres tipos de controladores: P, PI y PID, aplicados a diferentes puntos de operación de la planta.

Palabras-clave: Controladores industriales, Técnicas de sintonización, Prototipos educativos.

ABSTRACT

This article describes the design of Proportional (P), Proportional Integral (PI) and Proportional Integral Derivative (PID) controllers, using mathematical modeling, simulation and electronic implementation of the dynamic behavior of a servo-hydraulic system, through the application of Ziegler – Nichols' tuning technique based on an experimental methodology for different operating points. During the experimental section of this work, measuring instruments are used as data logger; system simulation is performed in Matlab® platform. Additionally, the ADAMView® software is used in the design of three types of controllers: P, PI and PID, applied to different parts of plant operation.

Keywords: *Industrial controllers, Tuning techniques, Educational prototypes.*

M.C. MARÍA ELENA ANAYA PÉREZ
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Sonora/ Universidad Popular Autónoma del Edo. de Puebla
Correo: meanaya@industrial.uson.mx
DR. VICTOR HUGO BENITEZ BALTAZAR
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: vbenitez@industrial.uson.mx

M.C.JESÚS HORACIO PACHECO RAMIREZ
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Sonora/Universidad de Arizona
Correo: jpacheco@industrial.uson.mx
M.C. FÉLIX MONTAÑO VALLE
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: felixm@industrial.uson.mx

*Autor para correspondencia: María Elena Anaya Pérez
Correo electrónico: meanaya@industrial.uson.mx
Recibido: 09 de marzo de 2014
Aceptado: 02 de junio de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de aplicaciones de sistemas de control en plantas de procesos industriales tales como petroleras, gaseras, químicas, farmacéuticas, alimentos y bebidas, agua, pulpa y papel, red de energía, minería, metales, etcétera. La importancia de las aplicaciones en el mundo real de los conceptos fundamentales de control es un tema clave para el ingeniero que desea especializarse en el área de control de procesos, siendo ésta una oportunidad en el ámbito industrial tanto en la implementación directa para el caso de plantas industriales en funcionamiento, como en la investigación para su diseño, desarrollo y modificación en equipos experimentales y control de sistemas interrelacionados y complejos (1). En (2) se presenta un caso de aplicación de diseño de un controlador PID para un sistema hidráulico industrial, en el que se hace énfasis en el uso amplio de este tipo de sistemas en la industria. También se puede revisar en la literatura la experiencia del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Sevilla (3), el cual desarrolló un trabajo sobre la implementación práctica de un controlador PID utilizando ajuste empírico de acuerdo a la técnica de Ziegler-Nichols y proporcionando información sobre las ventajas y desventajas de este tipo de controladores. Por otro lado, en (4) se hace énfasis en la importancia de realizar experimentos en los laboratorios como medida de control para reafirmar los conocimientos teóricos adquiridos, además de descubrir nuevos conocimientos. Así el objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados obtenidos a través de la investigación realizada sobre el diseño de controladores P, PI y PID para un sistema al cual tienen acceso estudiantes del Departamento de Ingeniería Industrial y posgrado en Ingeniería Industrial de la Universidad de Sonora, comprobando el desempeño de los diseños obtenidos con la información teórica, además de tomar la decisión de cuál de ellos es el más adecuado para el sistema en estudio, llevando a cabo un análisis de los resultados obtenidos. De esta forma se puede comprender mejor la razón por la cual ciertos tipos de controladores son más utilizados y recomendados para aplicaciones industriales.

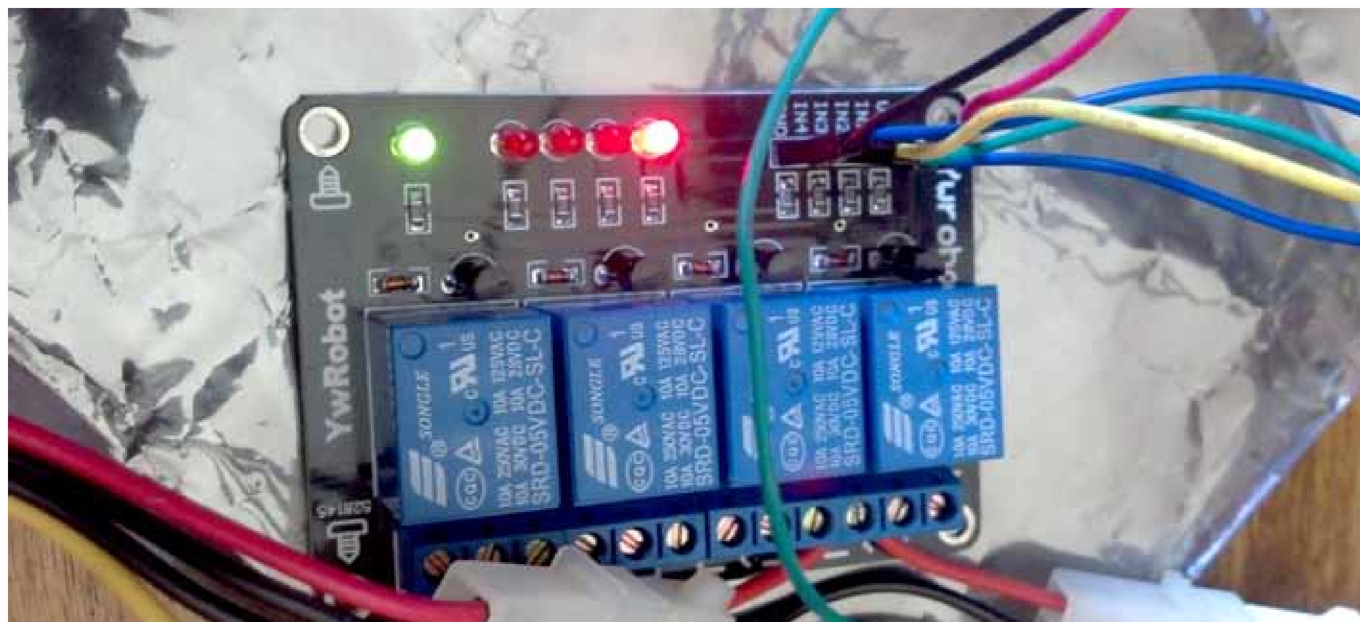
FUNDAMENTOS DE LOS CONTROLADORES Y METODOLOGÍA UTILIZADA

Estructura básica de un servo-sistema hidráulico

Un servo-sistema hidráulico es un conjunto de componentes individuales, interconectados para proporcionar una forma deseada de transferencia hidráulica. La estructura básica consta de:

- Fuente de alimentación hidráulica.
- Elementos de control (válvulas, sensores, etcétera).
- Accionamiento (cilindros y / o de motor).
- Otros elementos (tuberías, dispositivos de medición, etcétera).

En un sistema hidráulico básico, la bomba convierte la potencia disponible del motor primario a potencia hidráulica en el actuador. Las válvulas son utilizadas para controlar la dirección del flujo de la bomba, el nivel de potencia producido y la cantidad de fluido y presión hacia el actuador. Un actuador lineal o rotativo convierte la potencia hidráulica a potencia mecánica. El medio, un líquido, proporciona la transmisión y el control directo, así como la lubricación de componentes, sello de válvulas, y enfriamiento del sistema. Los conectores dirigen la potencia del fluido bajo presión y el flujo de fluido regresa al depósito. Finalmente, el fluido almacenado y el equipo acondicionado aseguran suficiente calidad y cantidad, y enfriamiento del fluido (5).



La preferencia al uso de servo-válvulas es debida a su rapidez en respuesta direccional, presión y control de fluido, por ello, frecuentemente se encuentran en arreglos de control de lazo cerrado para producir un rendimiento altamente sofisticado, requerido por los equipos modernos. Actualmente las servo-válvulas (Figura 1) son ampliamente utilizadas en distintas áreas industriales como la minera, agricultura, transporte, embarques y en control de procesos, el cual tiene el objetivo de mantener y regular las condiciones de un proceso dentro del margen óptimo de valores deseados (5).

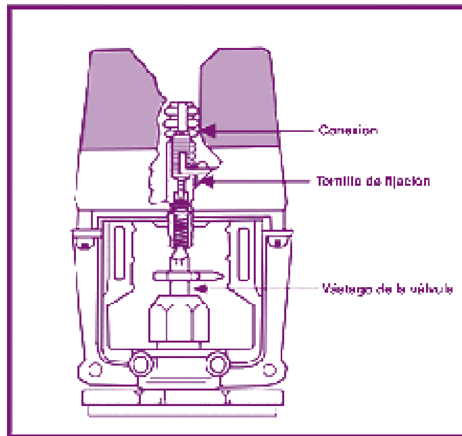


Figura 1. Componentes principales de una servo-válvula.

Diseño basado en una metodología experimental

En el análisis y diseño experimental de sistemas de control, el uso de señales de prueba se justifica porque existe una correlación entre las características de respuesta de un sistema para una señal de entrada de prueba común, el orden del sistema y su capacidad de manejar las señales de entrada reales. Las señales de prueba que regularmente se usan son: las funciones escalón, rampa, parábola, impulso, etcétera. Con estas señales de prueba es posible realizar con facilidad análisis matemáticos y experimentales de sistemas de control, ya que las señales son funciones del tiempo muy simples (6).

De acuerdo a (6), una característica importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, la cual, de forma cualitativa se clasifica como sistema estable, críticamente estable o inestable.

Existe una amplia clasificación de controladores industriales, pero de acuerdo a sus acciones de control presenta la siguiente clasificación (6):

- De dos posiciones o controlador *on-off*.
- Controlador proporcional (P).
- Controlador integral (I).
- Controlador proporcional-integral (PI).
- Controlador proporcional-derivativo (PD).
- Controlador proporcional-integral-derivativo (PID).

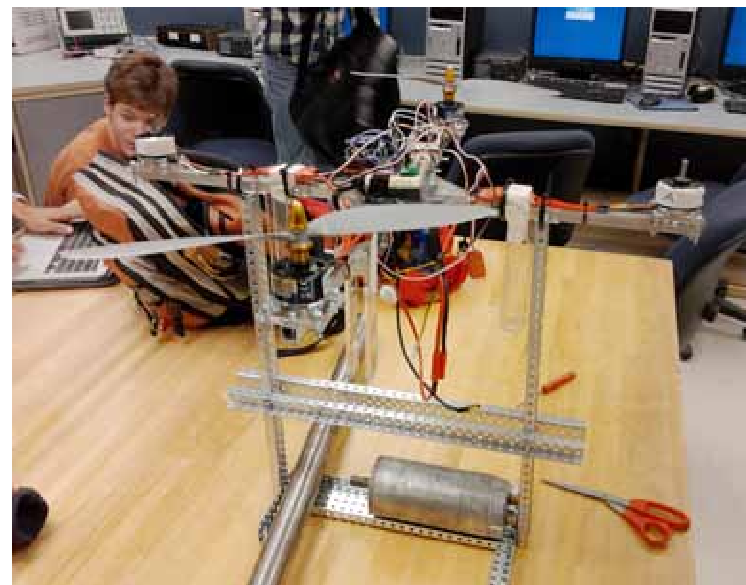
Es interesante señalar que más de la mitad de los controladores industriales que se usan en la actualidad utilizan esquemas de control PID o PID modificados. Como casi todos los controladores PID se ajustan en el sitio de forma experimental, lo que se conoce como sintonización, se pueden encontrar propuestas de muchos tipos diferentes de reglas para llevar a cabo una sintonización precisa de los controladores PID en el sitio.

Los controladores PID se aplican generalmente a la mayoría de los sistemas de control industrial. En particular, cuando el modelo matemático de la planta no se conoce y, por lo tanto, no se pueden emplear métodos de diseño analíticos.

Controladores PID en la industria de procesos

Es ampliamente conocido el éxito que ha tenido la aplicación del control PID en los procesos industriales. Con su funcionalidad de tres términos ofreciendo tratamiento tanto para respuesta transitoria como para respuesta en estado estacionario, el control PID provee una solución genérica y eficiente para los problemas de control presentes en el mundo real (7).

La amplia aplicación del control PID ha estimulado y sostenido la investigación y desarrollo para obtener el mejor desempeño del PID (8) y la búsqueda continua con la finalidad de encontrar la próxima clave en tecnología o metodología para la sintonización de estructuras PID (9). Los controladores PID funcionan de manera exitosa ya que operan en la mayoría de procesos lineales invariantes en el tiempo (LTI) y de una entrada una salida (SISO). Una vez que se sintoniza un controlador es de interés realizar el proceso de optimización(10). Existen diferentes técnicas de optimización para sintonizar los controladores, entre las cuales se pueden mencionar las de Ziegler y Nichols (1942), Cohen and Coon (1953), O'Connor and Denn (1972), Borresen and Grindal (1990), Connell (1996) y Sycros and Kooks (2005) (11).





Una de las estructuras estándar de controladores PID es la estructura paralela y funcionalidad de los tres términos. Esta estructura se refiere a la función de transferencia de un controlador PID, la cual se puede expresar en su forma ideal como:

$$G_{PID}(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s) \quad (1)$$

en donde $U(s)$ es la señal de control actuando en la señal de error $E(s)$, K_p es la ganancia proporcional, T_I es la constante de tiempo integral, T_D es la constante de tiempo derivativo, y s es el argumento de la transformada de Laplace. La señal de control también puede ser expresada en tres términos como:

$$U(s) = K_p E(s) + K_I \frac{1}{s} E(s) + K_D s E(s) = U_p(s) + U_I(s) + U_D(s) \quad (2)$$

en donde $K_I = K_p/T_I$ es la ganancia integral y $K_D = K_p T_D$ es la ganancia derivativa. La función de cada uno de los tres términos incluye:

1) El término proporcional provee una acción global de control proporcional a la señal de error a través del factor de ganancia dejando pasar todo tipo de frecuencias: $K_p\, E(s)$.

2) El término integral reduce los errores en estado estacionario a través de compensación de baja frecuencia: $K_I \frac{1}{s} E(s)$.

3) El término derivativo mejora la respuesta transitoria a través de una compensación de alta frecuencia: $K_D s E(s)$.

Aunque el término derivativo mejora la respuesta transitoria y la estabilidad (Tabla1), este comportamiento generalmente se expone de forma errónea por las razones que a continuación se describen. En diversas aplicaciones de ingeniería se ha encontrado que el término derivativo puede degradar estabilidad cuando existe un retraso de transporte. Más aún, la dinámica del término derivativo tiende a amplificar las señales de alta frecuencia y la implementación en tiempo real puede resultar en la saturación de actuadores y la inestabilidad provocada por el ruido eléctrico. La dificultad en la sintonización del término K_D ha provocado que muchos ingenieros eliminen el término derivativo, así, para un desempeño óptimo, se recomienda que K_p, K_I, y K_D sean sintonizados de manera conjunta. Los efectos individuales de los tres parámetros en un sistema de lazo cerrado de plantas estables se presentan en la tabla1.

Tabla1. Efectos de los términos P, I y D en el desempeño dinámico de un sistema de control.

	Tiempo de Subida	Saturación	Tiempo de estabilización	Error en estado estacionario	Estabilidad
Incrementa K_p	Decremento	Incremento	Pequeño incremento	Decremento	Reducción
Incrementa K_I o T_I	Pequeño decremento	Incremento	Incremento	Gran decremento	Reducción
Incrementa K_D o T_D	Pequeño decremento	Decremento	Decremento	Cambios menores	Mejora

Fórmula empírica para la sintonización de controladores de Ziegler-Nichols

Una fórmula empírica de sintonización, fue propuesta por Ziegler y Nichols a principios de 1942. La fórmula se aplica cuando el modelo de la planta se obtiene a partir de una función de primer orden más un tiempo muerto, pudiendo ser expresada por la función (3) de acuerdo a la figura 2 (12).

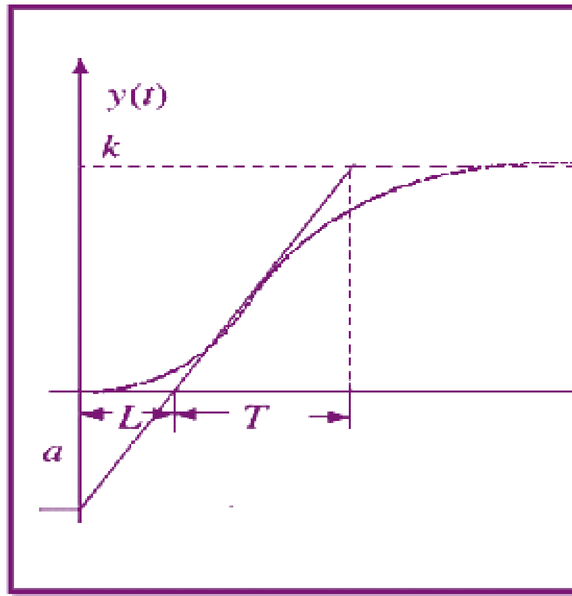


Figura 2. Tiempo de respuesta en planta con tiempo muerto.

$$G(s) = \frac{k}{1+sT}e^{-sL} \qquad (3)$$

En sistemas de control de procesos en tiempo real, una gran variedad de plantas pueden ser modeladas aproximadamente por la función de transferencia (3). Si el modelo del sistema no puede derivarse físicamente, es posible realizar experimentos con la finalidad de extraer los parámetros para aproximar el modelo (3). Por ejemplo, si la respuesta a la entrada escalón en el modelo de la planta es como la mostrada en la figura 2, entonces los parámetros de k, L y T pueden extraerse de una forma sencilla. Con los valores de L y $a = kL/T$, y utilizando la información proporcionada en la tabla 2 sobre las fórmulas de sintonización, pueden obtenerse los parámetros para los tipos de controladores P, PI y PID (12).

Tabla 2. Fórmulas de sintonización de Ziegler-Nichols.

Tipo de controlador	K_p	T_I	T_D
P	$1/a$	∞	0
PI	$0.9/a$	$3L$	0
PID	$1.2/a$	$2L$	$L/2$

Implementación del experimento para la obtención del modelo

El servo-sistema hidráulico en estudio, se encuentra representado por el diagrama de bloques que a continuación se presenta (Figura 3):

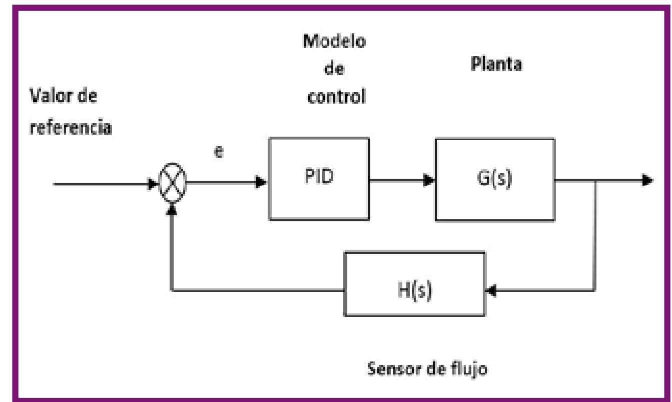


Figura 3.- Diagrama de bloques del servo-sistema hidráulico.

En esta sección, consideraremos el caso de que el modelo matemático de la planta es desconocido, lo cual, sucede a menudo en los sistemas industriales. Considerando la referencia (5), respecto a que este tipo de sistemas tienen un tiempo muerto al inicio de su funcionamiento, se realiza un experimento, basado en (12), el cual consiste en instrumentar el servo-sistema hidráulico con un osciloscopio para obtener las respuestas a distintas señales de prueba. En la figura 4 de los incisos "a" al "d", se presentan imágenes de cómo se montó el experimento mostrando el sistema instrumentado con un osciloscopio usado como *data logger* al módulo ADAM-4022T (13), y una de las gráficas de señal de la respuesta del sensor de flujo, obtenidas con el osciloscopio.

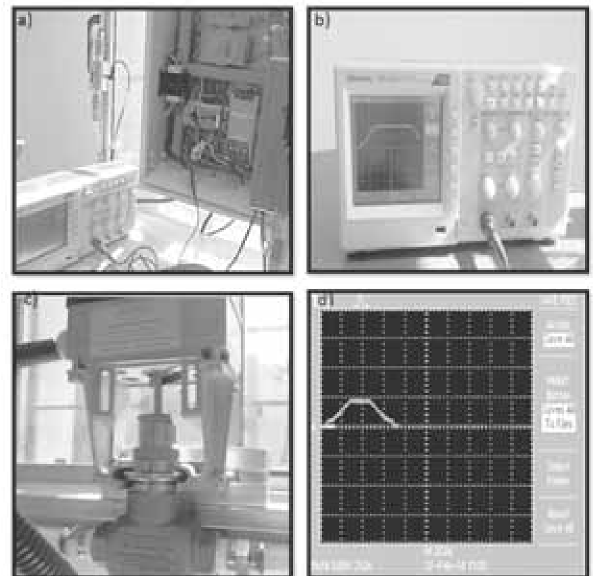


Figura 4. Imágenes del experimento realizado: a) Osciloscopio conectado al módulo ADAM-4022T (13), b) Osciloscopio tomando la señal de respuesta de la servo-válvula, c) Apertura de servo-válvula, y d) Señal de respuesta en osciloscopio para 5 volts.

RESULTADOS

Modelado

A continuación se procede a obtener el modelo matemático del comportamiento dinámico del servo-sistema hidráulico en estudio, para las entradas al sistema de 5, 6 y 8 volts, transfiriendo los datos adquiridos a través del experimento con el osciloscopio a la plataforma de MATLAB®, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Respuesta de sensor de flujo a entrada de 5 volts basado en modelo experimental.

La expresión (3) es el modelo matemático obtenido utilizando los valores para k, L y T; de acuerdo a la referencia (12), mostrando en la figura 6 la entrada de 5 volts.

Figura 6. Obtención de los valores para a, k, L y T, basado en modelo experimental.

La tabla 3 presenta los valores de los parámetros obtenidos para las entradas de 5, 6 y 8 volts junto con el modelo matemático obtenido utilizando la expresión (3).

Tabla 3. Modelos representativos de comportamiento dinámico del servosistema hidráulico para los casos de 5, 6 y 8 volts de entrada.

Entrada en volts	*a*	*K*	*L*	*T*	Modelo matemático de la planta	
5	4.2	4.37	12.2	12.7	$G(s) = \frac{4.37}{1+12.7s}e^{-(12.2)s}$	(4)
6	2.3	6.133	12	32	$G(s) = \frac{6.133}{1+32s}e^{-(12)s}$	(5)
8	2.4	8.291	11	38	$G(s) = \frac{8.291}{1+38s}e^{-(11)s}$	(6)

Diseño de controladores P, PI y PID con ADAMView®

Con el modelo (1), las expresiones para cada tipo de controlador se obtuvieron utilizando las fórmulas proporcionadas en la tabla 2 y la información de la tabla 3. Los parámetros y modelo matemático para cada tipo de controlador son presentados en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros y modelo matemático para controladores P, PI y PID.

Entrada en volts	Tipo de controlador	*Kp*	*Ti*	*Td*	Modelo matemático del controlador	
5	P	0.238	-	-	$G(s) = 0.238$	(7)
	PI	0.214	36.6	-	$G(s) = \frac{7.832\,s + 0.214}{36.6\,s}$	(8)
	PID	0.286	24.4	6.1	$G(s) = \frac{148.84\,s^2 + 16.978\,s + 0.286}{24.4\,s}$	(9)
6	P	0.435	-	-	$G(s) = 0.435$	(10)
	PI	0.391	36	-	$G(s) = \frac{14.076\,s + 0.391}{36\,s}$	(11)
	PID	0.522	24	6	$G(s) = \frac{144\,s^2 + 12.528\,s + 0.522}{24\,s}$	(12)
8	P	0.417	-	-	$G(s) = 0.417$	(13)
	PI	0.375	33	-	$G(s) = \frac{12.375\,s + 0.375}{33\,s}$	(14)
	PID	0.5	22	5.5	$G(s) = \frac{60.5\,s^2 + 11\,s + 0.5}{22\,s}$	(15)

Utilizando la tabla 4, se implementan los controladores P, PI y PID para los diferentes puntos de operación utilizando datos generados con software ADAMView®(14) y el controlador digital Módulo ADAM-4022T (13).

Simulación del comportamiento de los modelos de controladores obtenidos

Con un programa codificado en MATLAB® es posible llevar a cabo la simulación para los modelos obtenidos con la finalidad de comparar la simulación con el gráfico generado en tiempo real. Posteriormente se utilizará el modelo matemático en el diseño del controlador usando el software ADAMView®(14) en la programación y adquisición de datos para ser transferidos a la plataforma de MATLAB®.





En la figura 7 se aprecia la gráfica obtenida a través de la simulación realizada con el modelo para el caso de la entrada de 5 volts, con la gráfica obtenida en el experimento.

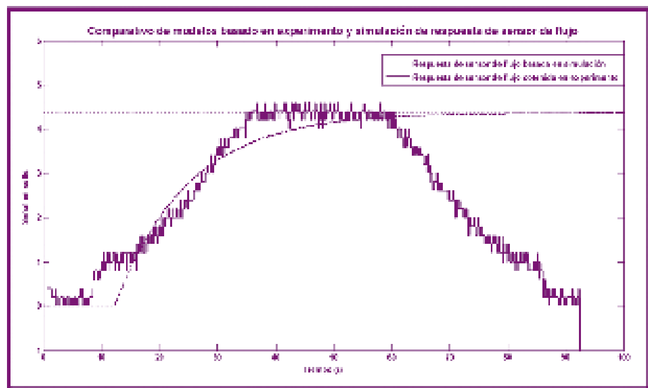


Figura 7. Comparativo de modelos experimental *vs* simulación.

A continuación, y sin pérdida de generalidad, se presentan las gráficas generadas en MATLAB® del comportamiento de los controladores P, PI y PID para la entrada de 5 volts. Se utilizan los valores de la tabla 4 como parámetros de inicio en el proceso de sintonización, de acuerdo a la técnica de Ziegler-Nichols (12).

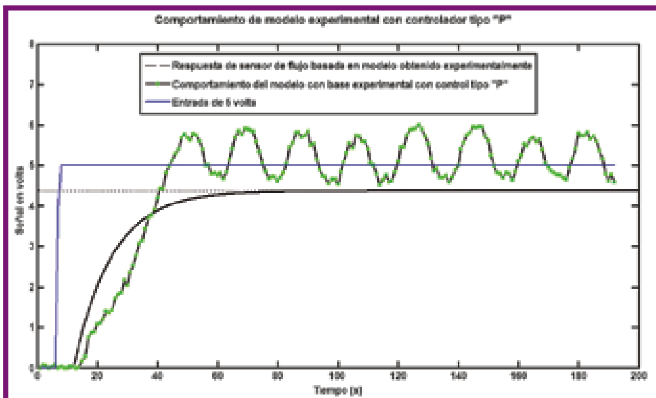


Figura 8. Servo-sistema hidráulico con control tipo P.

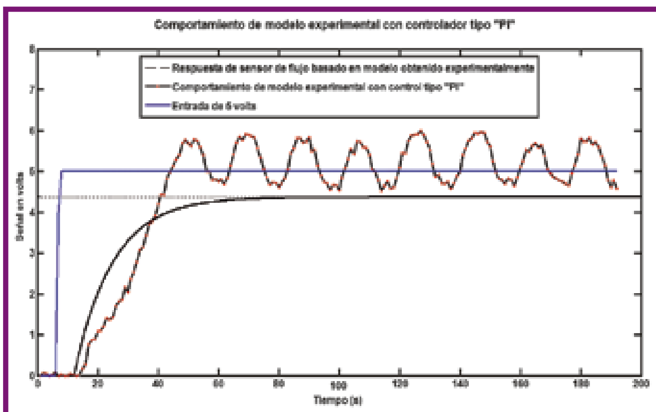


Figura 9. Servo-sistema hidráulico con control tipo PI.

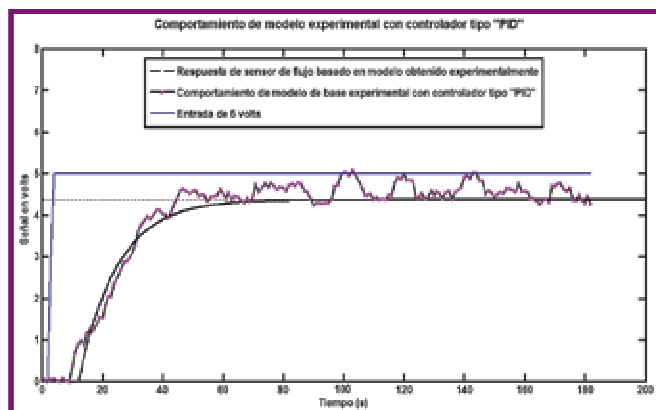


Figura 10. Servo-sistema hidráulico con control tipo PID.

Un análisis comparativo en la respuesta del sensor de flujo se puede llevar a cabo al simular el comportamiento de los tres tipos de controladores, lo cual se observa en las gráficas mostradas en las figuras 11, 12 y 13; para con ello concluir que es lo más recomendable, de acuerdo a lo que se mencionó en la sección *Diseño basado en una metodología experimental*, para el servo-sistema hidráulico en estudio.

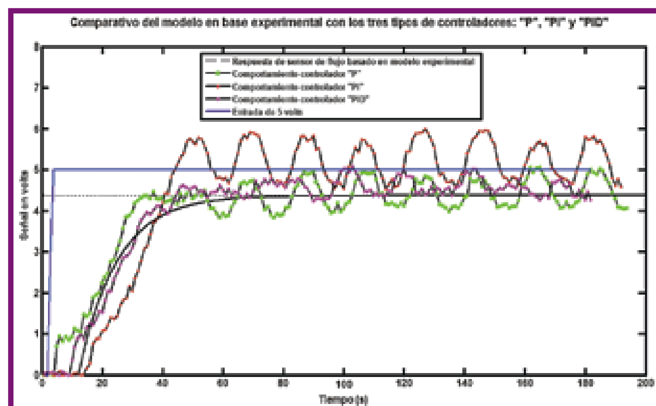


Figura 11. Comparativo de servo-sistema hidráulico con control tipo P, PI y PID. Entrada: 5 volts.

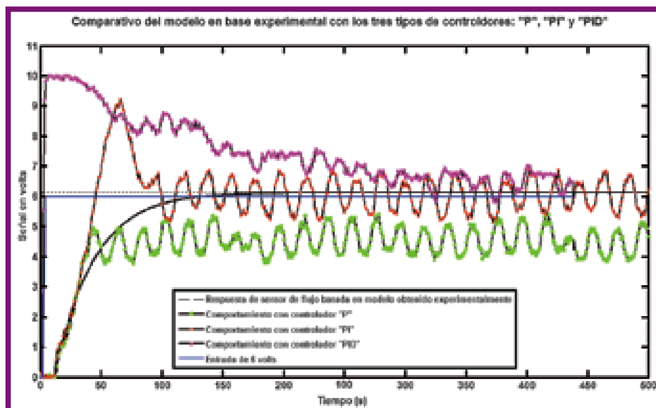


Figura 12. Comparativo de servo-sistema hidráulico con control tipo P, PI y PID. Entrada: 6 volts.

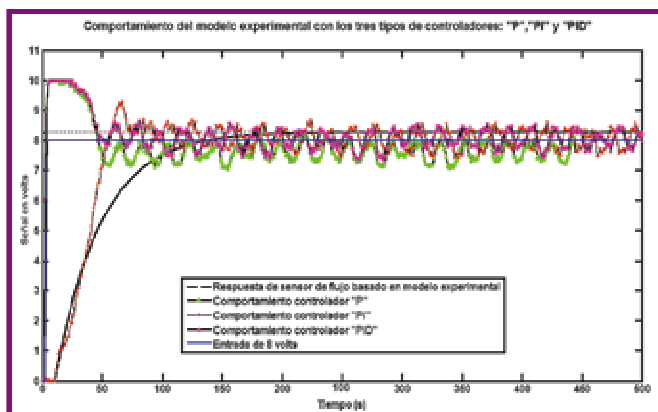


Figura13. Comparativo de servo-sistema hidráulico con control tipo P, PI y PID. Entrada: 8 volts.

Además el experimento arroja que el sistema tiene comportamiento muy lento respondiendo a una apertura de la servo-válvula después de aplicar una señal de 3 volts y en un orden de magnitudes mayores a un minuto para alcanzar su valor final.

CONCLUSIONES

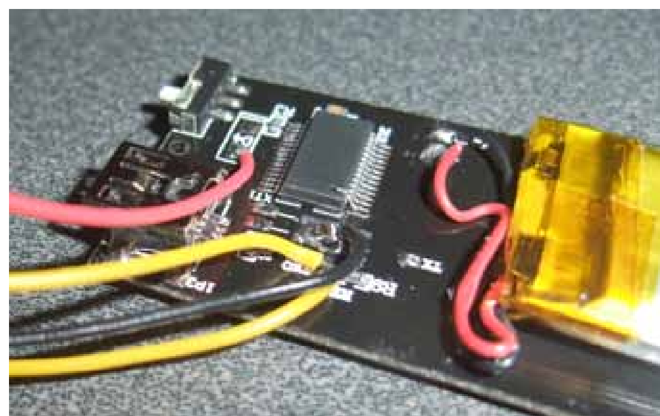
De acuerdo con los tres diseños obtenidos y con los comportamientos mostrados en las figuras 11, 12 y 13, se puede concluir que lo más recomendable para este caso de estudio y que coincide con la literatura, es implementar un controlador PI o PID, ya que con estos controladores el comportamiento del sistema converge al valor deseado, el error se reduce y se aprecia mayor estabilidad, principalmente en el tipo PID.

En este trabajo se presenta un caso detallado del análisis, diseño e implementación de controladores P, PI y PID. Aunque estas estructuras de control son bien conocidas en la comunidad de control automático, en la literatura se encuentran pocos trabajos que expliquen de manera clara y detallada una metodología para llevar a cabo la implementación de estos controladores. Es de especial interés para la comunidad académica el presentar este trabajo con propósitos educativos con la finalidad de que los estudiantes tanto de licenciatura como de posgrado, obtengan los conocimientos necesarios para dar solución a problemas reales aplicando las técnicas teóricas a sistemas con equipos industriales. Se sabe que dentro de la industria se cuenta con personal en las áreas de ingeniería de procesos e instrumentación que no tienen los fundamentos suficientes acerca de los detalles técnicos involucrados en la construcción del diseño de los algoritmos de los sistemas de control. Con este trabajo se pretende lograr el acercamiento de los estudiantes de los niveles de educación superior, a la práctica en la industria, estableciendo el nexo entre el análisis y diseño de controladores industriales, así como su implementación y puesta en marcha en un sistema real. Adicionalmente, un interés fuerte para desarrollar este trabajo es el de la puesta en operación de un sistema de control para el laboratorio de control automático de la Universidad de Sonora adscrito al departamento de Ingeniería Industrial.

Como trabajo futuro se obtendrá el diseño del controlador por sintonización basado en el modelo analítico, con la finalidad de evaluar ambas técnicas, estableciendo las ventajas y desventajas entre ellas.

BIBLIOGRAFÍA

1) Dorf, R.C.y Bishop, R.H. (2005). *Sistemas de Control Moderno*(10ma. Ed.).Madrid, España: Pearson Educación.
2) Liu, G., Daley, S. y Duan, G. (2002). Application of optimal-tuning PID control to Industrial hydraulic systems. *15th TriennialWorldCongress, Barcelona, Spain*.
3) Álamo, T. (2014). Diseño de controlador PID.*Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla*. http://www.esi2.us.es/~alamo/Archivos/Certificaciones/Sec_9_Otras_Publicaciones/Docente/AlamoPIDTotal.pdf (10-03-2014).
4) Armstrong, B. y Pérez, R. (2001). Controls Laboratory Program with an Accent on Discovery Learning.*IEEE Control Systems Magazine*. Febrero. 0272-1708/01/S10.00©2001IEEE.
5) Jelali, M., Kroll, A. (2003).*Hydraulic Servo-systems: Modelling, Identification and Control*. Great Britain: Springer.
6) Ogata, K.(2010). *Ingeniería de control Moderna*(5ta. Ed.). Madrid, España: Pearson Educación.
7) Li, Y., Heong A., K. y Chong, G. C. Y. (2006). PID Control System Analysis and Design. Problems, remedies and future directions. *IEEE Control Systems Magazine*.Febrero. Vol. 26 No. 1, pp. 32-41, 120.
8) Getting the best out of PID in machine control*(*1996).*In Digest IEE PG16 Colloquium(96/287)*.Octubre. London, UK.
9) Marsh, P. *(*1998*)*. Turn on, tune in- Where can the PID controller go next. *New Electron*. Vol. 31, No. 4, pp. 31-32.
10) Samad, T. y Annaswamy, A. (2011). The Impact of Control Technology: Overview, Success Stories, and Research Challenges.*IEEE Control Systems Society*. Febrero.
11) O'Dwyer, A. (2003).*Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules*(2da. Ed). London: Imperial College Press.
12) Xue, D., Chen, Y., Atherton, D.P. (2007). *Linear Feedback Control: Analysis and Design with MATLAB®*.Philadelphia, PA.: Society for Industrial and Applied Mathematics.
13 ADAM-4022T (2014).*Serial Base Dual Loops PID Controller User´s Manual*. http://amasc.kz/assets/files/files/Advantech/ADAM-4000/ADAM-4022Tpdf (10/03/2014).
14) ADAMView®(2014). *Data Acquisition Software – Datos técnicos* disponibles en http://www.bb-elec.com/Products/Datasheets/ADAMView_ds.pdf. (9-03-2014).





CAMBIO EN AZÚCARES FERMENTABLES EN LA REMOLACHA AZUCARERA ALMACENADA EN ATMÓSFERAS AEROBIA Y ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

JUAN MANUEL VARGAS RAMÍREZ*, DARRIN M. HAAGENSON, SHAFIQUR RAHMAN, DENNIS P. WIESENBORN, JUAN MANUEL VARGAS LÓPEZ

RESUMEN

Los métodos de almacenamiento de largo plazo son necesarios para preservar los azúcares fermentables en la remolacha y permitir el funcionamiento exitoso a lo largo del año en las plantas procesadoras para la obtención de etanol. Se estudió el almacenamiento anaeróbico de la remolacha azucarera como una alternativa al almacenamiento convencional en pilas a la intemperie utilizado actualmente en fábricas de azúcar de remolacha. Los resultados experimentales indican una pérdida de <15% en el total de los azúcares fermentables en la remolacha azucarera almacenada anaeróbicamente durante 14 semanas a 4 °C. Después de 14 semanas de almacenamiento, 99 ± 4% de los azúcares fermentables iniciales fueron preservados en la remolacha almacenada en condiciones aeróbicas a 4 °C. El almacenamiento aeróbico y anaeróbico de remolacha azucarera a 25 ° C conserva 82 ± 9 y 48 ± 11% del contenido de azúcar fermentable, respectivamente. Los azúcares fermentables y etanol en exudados contribuyeron insignificantemente (<3%) para el rendimiento del etanol global de remolacha azucarera después del almacenamiento.

Palabras-clave: Biocombustibles avanzados, azúcares fermentables, almacenamiento anaeróbico, cromatografía de gas (GC).

ABSTRACT

Methods for long-term storage are necessary to preserve the fermentable sugars in the beets and allow successful operation throughout the year in processing plants for the production of ethanol. Anaerobic storage of sugar beet was studied as an alternative to conventional storage batteries currently used outdoors in beet sugar factories. Experimental results indicate a loss of <15% of total fermentable sugars in sugar beets anaerobically stored for 14 weeks at 4 °C. After 14 weeks of storage, 99 ± 4% of initial fermentable, sugars were preserved in beets stored aerobically at 4 °C. Aerobic and anaerobic storage of sugar beet at 25 °C retained 82 ± 9 and 48 ± 11% of the content of fermentable sugar, respectively. Ethanol and fermentable sugars from exudates contributed negligibly (<3%) to the overall yield of ethanol from sugar beet after storage.

Keywords: *Advanced biofuel, fermentable sugars, anaerobic storage, gas chromatography (G.C.).*

MSc. JUAN MANUEL VARGAS RAMÍREZ
Department of Agricultural and Biosytems Engineering, Fargo, North Dakota, EUA.
Correo: juan.vargasramirez@my.ndsu.edu
PhD. DARRIN M. HAAGENSON
Department of Agricultural and Biosytems Engineering, Fargo, North Dakota, EUACorreo: darrin.haagenson@ndsu.edu
PhD. SHAFIQUR RAHMAN
Department of Agricultural and Biosytems Engineering, Fargo, North Dakota, EUA
Correo: s.rahman@ndsu.edu
PhD. DENNIS P. WIESENBORN
Department of Agricultural and Biosytems Engineering, Fargo, North Dakota, EUA
Correo: d.wiesenborn@ndsu.edu
DR. JUAN MANUEL VARGAS LÓPEZ
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora
Correo: vargasra@hotmail.com

*Autor para correspondencia: Juan Manuel Vargas Ramírez
Correo electrónico: juan.vargasramirez@my.ndsu.edu

Recibido: 12 de marzo de 2013
Aceptado: 04 de abril de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

La Ley de Independencia Energética y Seguridad de 2007 (EISA) en EUA encomendó la producción y mezcla de 36 billones de galones por año de biocarburantes en los combustibles para el transporte en 2022, por lo que se considera de importancia prioritaria la búsqueda de fuentes alternativas para satisfacer esa demanda energética. El objetivo principal es reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) que resultan de la combustión de combustibles fósiles y son perjudiciales para el medio ambiente. Los biocombustibles se clasifican en la EISA en base a su potencial para reducir las emisiones netas de GEI. Los biocombustibles convencionales, avanzados y celulósicos tienen la propiedad de reducir las emisiones netas de GEI en un 20, 50 y 60%, respectivamente (9). Las remolachas son de interés para la producción de etanol en los Estados Unidos, ya que pueden calificar como materia prima para producir biocombustibles avanzados bajo la EISA.

La remolacha azucarera es un cultivo bianual, pero llega a alcanzar su contenido de azúcar máximo durante el primer año de crecimiento. En el Valle del Río Rojo (Dakota del Norte, EUA), las remolachas suelen sembrarse en mayo y se cosechan en octubre (2, 3, 4). El almacenamiento convencional consiste en apilar las remolachas en patios de almacenamiento abierto, adyacentes a las fábricas y congelarlas por ventilación forzada con aire frío del ambiente que se presenta en las condiciones invernales extremas. Sin embargo, existen riesgos e inconvenientes asociados con el almacenamiento convencional. El almacenamiento de la remolacha azucarera en pilas expuestas, pueden llevar a la formación de puntos calientes dentro de las pilas debido a una ventilación insuficiente y, por tanto, la degradación microbiana de los azúcares de la remolacha (1, 8). Además de esto, la congelación aumenta la ruptura de las paredes celulares haciendo los contenidos celulares susceptibles a la lixiviación durante la descongelación y lavado de la remolacha azucarera antes de la extracción del azúcar (6). Además, la remolacha descongelada antes del procesamiento requiere grandes cantidades de agua caliente que aumenta las necesidades energéticas globales del proceso. La producción de etanol a partir de remolacha azucarera debe ser altamente eficiente de la energía, para calificar la remolacha como materia prima para biocombustibles avanzados. Por lo tanto, las tecnologías alternativas para el almacenamiento convencional deben ser exploradas para abordar las cuestiones antes mencionadas.

Las tecnologías de conservación se han desarrollado a lo largo de los años para aumentar el tiempo de conservación de los productos perecederos. La modificación de la composición de las atmósferas de almacenamiento ha sido un éxito para minimizar la pérdida de calidad de los productos almacenados (6). Gases inertes tales como CO_2 y N_2 se utilizan comúnmente para modificar atmósferas en las instalaciones de almacenamiento (7). Los efectos de conservación usando atmósferas modificadas se pueden mejorar en combinación con temperaturas reducidas (<25 °C) para disminuir la respiración de la planta y el metabolismo (7). Estos principios han aumentado la vida útil de los productos frescos tales como manzanas y peras de varios días a hasta 9 meses (5).



Las remolachas azucareras contienen típicamente 15 a 20% en peso (b.h.) de sacarosa, 0,2 a 0,5% de rafinosa, y de 0,05 a 0,1% de glucosa y fructosa (6). Cole & Bugbee (7) evaluaron la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa en la remolacha azucarera almacenadas aeróbicamente y bajo una atmósfera no ventilada a 5 °C y 26 °C. Sin embargo, su estudio se basó en la importancia de la alta retención de sacarosa en la remolacha azucarera como un requisito para la aceptación en las instalaciones de procesamiento de azúcar. En contraste con los requisitos de la industria azucarera, la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructosa no deben constituir un problema para la industria del etanol ya que estos azúcares son fácilmente fermentados por la levadura. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento y el contenido inicial de oxígeno de la atmósfera de almacenamiento en la retención de los azúcares fermentables (sacarosa, glucosa y fructosa). Los hallazgos podrían ayudar en el diseño de experimentos posteriores más amplios, para desarrollar tecnologías de almacenamiento mejorados para la preservación de azúcar fermentable en la remolacha azucarera.



MATERIALES Y MÉTODOS

Remolacha azucarera – obtención y almacenamiento

Las remolachas azucareras de una sola variedad, Beta 1301R (Betaseed, Inc., Minneapolis, MN) fueron cosechadas en una prueba de campo de 2011 en Fargo, Dakota del Norte y fueron proporcionadas por el USDA Agricultural Research Service (Fargo, ND). El lodo del campo fue eliminado por lavado de las remolachas en un contenedor de escala piloto. Las remolachas lavadas se almacenaron en bolsas de polietileno perforadas, por 4 semanas a 5 °C, hasta que los tratamientos de almacenamiento se iniciaron.

Arreglo experimental

Al inicio del estudio de almacenamiento, 8 remolachas fueron seleccionadas al azar y se prepararon para las pruebas inmediatamente, en pares, para el total de azúcares fermentables. El contenido de azúcar fermentable se promedió entre los 4 pares de remolacha y se utilizó como una línea de base (control) durante todo el experimento. Los tratamientos experimentales se prepararon usando remolachas de tamaño y forma uniformes que se pesaron individualmente antes de ser asignados aleatoriamente a las bolsas de tratamiento. Las unidades experimentales consistieron en, ya sea una bolsa de vacío de triple sello (tratamiento anaeróbico) con un espesor de 75-µ (Soluciones Ultravac, Kansas City, MO) o una Ziploc ® bolsa de congelación perforada (SC Johnson & Son, Inc., Racine, WI) (tratamiento aeróbico) que contiene 1 remolacha en cada una de las bolsas. Las remolachas para la parte anaeróbica del experimento fueron empaquetadas al vacío utilizando una cámara manual de vacío, Ultravac ® 2100, de la máquina de embalaje (Soluciones Ultravac, Kansas City, MO) que opera con un vacío en el rango de 20 a 30 psi para extraer 97% a 99% del aire en las bolsas. Las remolachas envasadas se almacenaron a 4 °C o 25 °C y cada tratamiento de almacenamiento se realizó por triplicado. Las remolachas almacenadas fueron analizadas para el total de azúcares fermentables a los 2, 4, 7, 10, 12 y 14 semanas de almacenamiento.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Las muestras de tejidos de la remolacha se recogieron en los intervalos de tiempo especificados (2, 4, 7, 10, 12 y 14 semanas) por la perforación en cada remolacha realizada con un taladro eléctrico equipado con una punta de pala 1.6 cm. La perforación se inició por la cicatriz debajo de la hoja inferior y procedió en una dirección transversal hacia abajo de la corona de la raíz que se extiende hacia la punta de la raíz. La perforación proporcionó una muestra de tejido para los análisis de azúcar representativos, y 50 g de tejido fueron recogidos de cada remolacha. Las muestras de tejido se mezclaron completamente para asegurar la homogeneidad de la muestra. Las muestras se colocaron inmediatamente en las bolsas de congelación individuales Ziploc ® (SC Johnson & Son, Inc., Racine, WI) y se congelaron durante la noche para mejorar la ruptura de las células y facilitar la extracción de los azúcares. Se utilizó el método de digestión fría para cosetas [pulpas de remolacha] (6) para extraer los azúcares de las muestras de tejido de remolacha. Los métodos para cuantificar los azúcares fermentables totales (sacarosa, glucosa y fructosa) se basaron en las modificaciones del kit de reactivo UV de glucosa líquida (CLINIQA Corporation, San Marcos, CA). Los azúcares se cuantificaron después de los análisis enzimáticos espectrofotométricos de punto final (340 nm) modificados para su uso con un lector de microplacas (SpectraMAX Plus, Molecular Devices Corp., Sunnyvale, CA, EE.UU.). La sacarosa se hidrolizó a glucosa más fructosa mediante la digestión con la enzima invertasa (Sigma I4504) y la fructosa se determinó después de la



isomerización con fosfoglucosa isomerasa (Sigma P5381), de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los azúcares fermentables totales fueron expresados sobre base seca y como el promedio de los tratamientos en triplicado del almacenamiento.

Las muestras individuales del gas formado y atrapado dentro de las unidades de tratamiento anaeróbico se recogieron de cada réplica en jeringas de muestreo y cuantificados por cromatografía de gases (GC). Las muestras de gas se caracterizaron usando una unidad de GC (modelo 8610C, SRI Instruments, Torrance, CA 90502) equipado con un detector de ionización de flama (FID) y un detector de captura de electrones (ECD). Antes de inyectar una muestra dentro del bucle de muestreo, las temperaturas de los detectores FID y ECD se ajustaron a 300°C y 350°C, respectivamente. El detector ECD fue operado con N_2 como gas portador a 140 kPa (20 psi). El hidrógeno y el aire fueron suministrados a 140 kPa (20 psi) al detector FID/metanizador, utilizando un compresor de aire incorporado. En este sistema de GC, el ECD detectó N_2O; mientras que el FID/metanizador detectó CH_4 y CO_2. Los cromatogramas de gas se registraron y analizaron con el software del sistema de datos de cromatografía PeakSimple (versión 3.72, SRI Instruments, Torrance, CA 90502). Se generaron tres puntos para elaboración de las curvas de calibración utilizando CH_4 (20, 100, y 1000 ppmv), CO2 (100, 1000, y 2500 ppmv), y N_2O (0, 1, y 10 ppmv) de los gases. Los gases de calibración se analizaron antes y después del análisis de la muestra para asegurar el funcionamiento correcto de la unidad GC.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El paquete Sigma Plot Versión 8,0 (SPSS Inc., Chicago, IL) fue utilizado para determinar las mejores funciones de regresión de ajuste para modelar el cambio en el total de azúcares fermentables para cada condición de tratamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó el cambio en el total de azúcares fermentables en la remolacha azucarera almacenada bajo la presencia y ausencia de oxígeno a 4 °C y 25 °C. Como el tiempo de almacenamiento fue aumentando, se detectaron tanto el gas y el exudado en las unidades de almacenamiento, mientras que el crecimiento de mohos anaerobios fue observado en el tejido de la piel de varias remolachas almacenadas aeróbicamente a 25°C. El almacenamiento de la remolacha azucarera en un ambiente aeróbico a 25ºC dio como resultado una mejor fue más eficiente para la retención del total de azúcares fermentables después de 4 semanas en comparación con el almacenamiento anaeróbico a la misma temperatura (Figura 1).

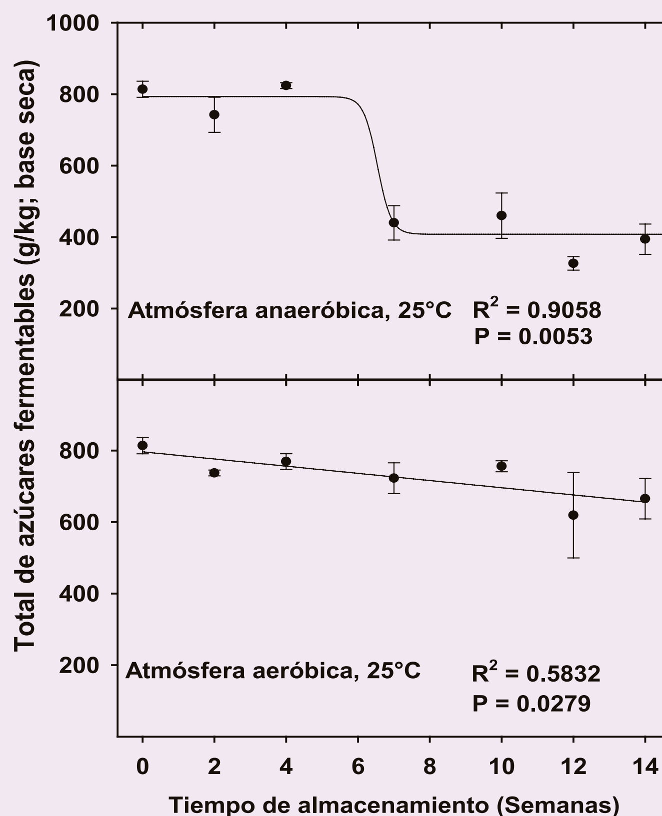


Figura 1. Cambio en el total de los azúcares fermentables en la remolacha azucarera: a) almacenada anaeróbicamente y aeróbicamente b) a 25 °C.

Las remolachas azucareras almacenadas anaeróbicamente a 25ºC mostraron una disminución abrupta >45% en azúcares fermentables totales entre 4 y 7 semanas de almacenamiento. Esta disminución abrupta coincidió con la aparición de exudado dentro de las unidades de almacenamiento. Las bacterias presentes en el tejido de remolacha son responsables de metabolizar la mayoría de los azúcares perdidos durante el



almacenamiento (7). Además de la degradación bacteriana, la sacarosa es utilizada por las remolachas como sustrato para la respiración de la planta y para cicatrizar heridas que se originan durante la cosecha (8). Después de 7 semanas, la concentración de azúcares llegó a una meseta de 48 ± 11% del contenido de azúcar fermentable inicial, y continuó así hasta el final del almacenamiento. El cambio en azúcares fermentables en la remolacha almacenadas anaeróbicamente a 25°C se ajustó mejor por una función sigmoide. Muchos procesos naturales que tienen una progresión lenta inicial seguida por una aceleración brusca antes de alcanzar una meseta están mejor representados por una función sigmoide (9).

Cole y Bugbee (7) detectaron un significativo aumento de la sacarosa en las remolachas recién cosechadas y almacenadas bajo una atmósfera no ventilada a 26ºC durante 7 d. En su estudio, los recuentos bacterianos disminuyeron después de que el pH del tejido de remolacha se redujo a valores entre 4-5. Del mismo modo, en el presente estudio, una disminución del pH puede haber detenido la actividad de las bacterias que residen en el tejido de la remolacha almacenadas anaeróbicamente. Además, las enzimas hidrolíticas, en conjunción con el bajo pH del tejido, podría haber contribuido a la hidrólisis de la sacarosa explicando así, el aumento de la glucosa y la fructosa más allá de 7 semanas de almacenamiento (Figura 2).

La remolacha azucarera almacenada en condiciones aeróbicas a 25°C mostró una disminución gradual de 1.3% / semana en azúcares fermentables y retuvo el 82 ± 9% después de 14 semanas de almacenamiento (Figura 1b). Después de 2 semanas de almacenamiento, el enmohecimiento fue detectado visualmente en la superficie de varias remolachas y se extendió lentamente durante el período de almacenamiento restante (Figura 3). El moho secreta enzimas hidrolíticas que su invasividad ayuda a hidrolizar hidratos de carbono complejos en el tejido sano. Estas enzimas hidrolíticas pueden haber contribuido a la reducción del total de los azúcares fermentables en las remolachas afectadas.

Las remolachas azucareras almacenadas en condiciones aeróbicas y anaeróbicas a 4°C retuvieron 99 ± 4% y 87 ± 0.1% de los azúcares fermentables iniciales, respectivamente (Figura 4). En contraste, la remolacha azucarera que se almacenó a 25°C bajo atmósfera aeróbica y anaeróbica retuvieron 82 ± 9% y 48 ± 11% de los azúcares fermentables iniciales, respectivamente (Figuras 1 y 4). Las bajas temperaturas son conocidas por reducir la tasa de crecimiento de los microorganismos y suprimir la actividad de las enzimas. La remolacha azucarera almacenada anaeróbicamente a 4°C mostró una disminución de 1.1%/semana en azúcares fermentables en comparación con una disminución de 3,7%/semana en la remolacha almacenada bajo una atmósfera similar a 25°C. Una disminución promedio de 0.3%/semana en azúcares fermentables se cuantificó para la remolacha azucarera almacenada aeróbicamente durante 14 semanas a 4°C, y la disminución no fue estadísticamente significativa.

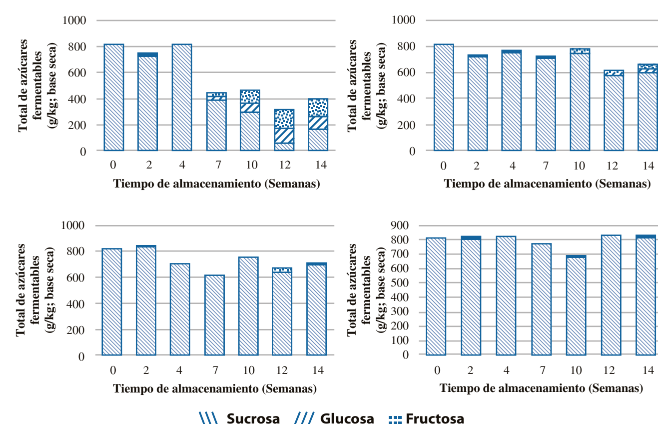


Figura 2. Azúcares fermentables en la remolacha azucarera almacenada bajo atmósferas aeróbicas y anaeróbicas a 4°C y 25°C.



Figura 3. El crecimiento del moho en la remolacha azucarera almacenado aeróbicamente a 25°C durante 14 semanas.

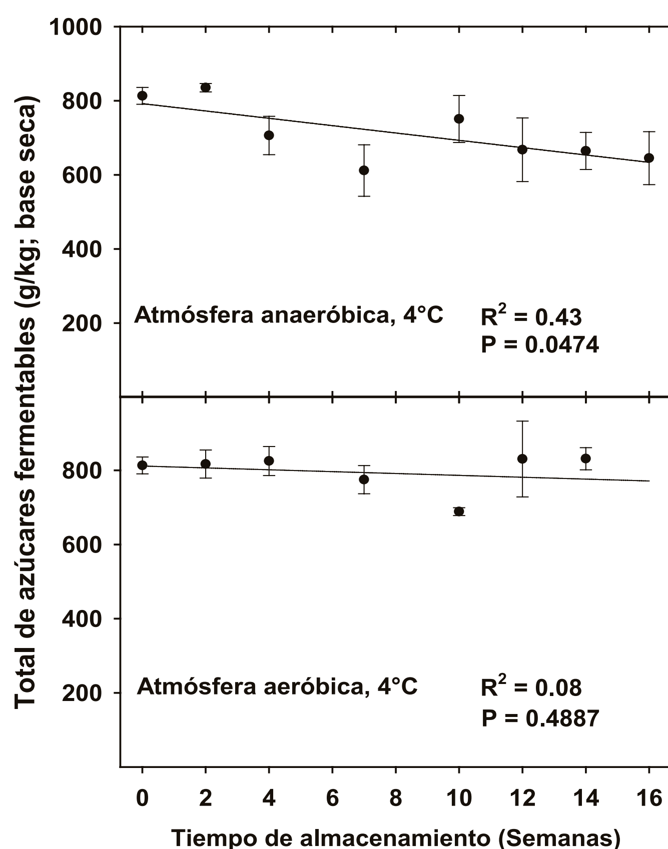


Figura 4. Cambio en azúcares fermentables en la remolacha azucarera almacenados: a) anaeróbicamente y aeróbicamente b) a 4°C.

Se observó la producción de gas dentro de todos los paquetes al vacío después de 2 semanas de almacenamiento, y su volumen incrementó visiblemente con el tiempo de almacenamiento (Figura 5a). Después de 7 semanas, la concentración de CO_2 promedio fue de 61 ± 2% dentro de los envases al vacío de la remolacha azucarera que se almacenó a 25°C. La concentración de CO_2 alcanzó un máximo de 97 ± 3% en 10 semanas antes de caer a 79 ± 1% en la semana 12 para permanecer estable después. El alto nivel de CO_2 debe dar lugar al ácido carbónico (H_2CO_3) en el exudado encapsulado dentro de los envases al vacío, lo que podría disminuir el pH y, consecuentemente, mejorar la retención de azúcar fermentable. El metano también se detectó a una concentración de 1 ± 0.2% dentro de los envases al vacío a 10 y 12 semanas de almacenamiento.

Las remolachas azucareras que fueron almacenadas bajo una atmósfera anaeróbica inicial y a 25°C, mostraron un exudado en su superficie después de 7 semanas de almacenamiento (Fig. 5B). Después de 10 semanas de almacenamiento, el exudado estaba presente en todos los paquetes de vacío que contienen remolacha almacenadas a 4°C y 25°C. La exudación puede haber sido mejorada por diferencia de presión entre el interior y el exterior de los paquetes, forzando el contenido intracelular a ser expulsado el exudado de las células de remolacha. Sin embargo, el agua formada como un subproducto de la respiración de remolacha o de la fermentación microbiana de azúcares, también ha contribuido al total del volumen del exudado.





Figura 5. Remolachas: a) La acumulación de gas dentro del paquete de vacío después de 4 semanas de almacenamiento y jugo b) exudado en la capa externa del envasado al vacío.

Los exudados se recogieron a partir de todas las unidades de almacenamiento, se pesaron, y se analizaron para azúcares fermentables y etanol para determinar su contribución al rendimiento global de etanol. Después de 7 semanas de almacenamiento, los exudados de los tratamientos anaerobios almacenados a 25°C representaron el 3% del peso inicial de la remolacha, y alcanzó el 5% por el final del almacenamiento. Los exudados fueron recuperados de los tratamientos almacenados a 4°C durante 12 y 14 semanas, y representó el 4% y el 6% de los pesos iniciales de remolacha, respectivamente. Los azúcares fermentables en los exudados recogidos a las 14 semanas de almacenamiento representaron 2 ± 0.4% y 1 ± 0.1% de los azúcares fermentables iniciales en la remolacha almacenada a 4°C y 25°C, respectivamente. Los contenidos de etanol se convirtieron en equivalentes de glucosa, y representaron 1 ± 0.5% y 0.3 ± 0.1% de los azúcares fermentables iniciales en la remolacha almacenadas a 4°C y 25°C, respectivamente. Por lo tanto, la recuperación de los exudados después del almacenamiento anaeróbico de remolacha azucarera a 4ºC puede promover la retención de azúcar fermentable de 87 ± 0.1% a 90 ± 0.5%.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que la pérdida de azúcares fermentables fue consecuencia de la respiración de la remolacha azucarera en combinación con la fermentación microbiana que produjo un bajo rendimiento; pero, es todavía una significativa cantidad de etanol que puede contribuir a la capacidad global del volumen de etanol obtenido.

El desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento para preservar azúcares fermentables (sacarosa, glucosa y fructosa) derivados de la remolacha azucarera, es necesario para permitir la operación de plantas productoras de etanol durante todo el año. En el presente estudio, la disminución de temperatura resultó en un beneficio en cuanto a la preservación de azúcares fermentables. Por otra parte, la eliminación de oxígeno en la atmósfera de almacenamiento no aportó beneficios a la preservación de azúcares y en cambio, contribuyó a la pérdida de éstos al crear un ambiente favorable para la fermentación anaeróbica. Como evidencia de lo anterior, remolachas almacenadas bajo atmosfera anaeróbica y aeróbica durante 14 semanas a 4°C, retuvieron 87 ± 0.1% y el 99 ± 4% de azúcares fermentables iniciales, respectivamente. En cambio, remolachas almacenadas bajo atmósferas similares durante 14 semanas a 25°C, retuvieron sólo 48 ± 11% y 82 ± 9% de su contenido inicial de azúcares fermentables, respectivamente. Estos resultados pueden servir como base comparativa en la búsqueda de técnicas alternativas de almacenamiento. Adicionalmente, los métodos propuestos pueden ser útiles en el diseño de nuevos experimentos que involucren el uso de atmósferas modificadas y controladas. Evaluaciones económicas son necesarias para determinar la viabilidad de técnicas de almacenamiento en desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1) McGinnis, R.A. (1982). Beet-sugar technology. Beet Sugar Development Foundation. Denver, CO.
2) USDA/ERS (2012a). Sugar and Sweeteners: Recommended Data. U.S. Sugar Supply and Use. Table 14 – U.S. sugarbeet crops: area planted, acres harvested, yield per acre, and production, by state and region (Updated on 01/12/2012). Available at: http://www.ers.usda.gov/Briefing/Sugar/Data.htm
3) NDSU Carrington REC (2010). 2010 Variety Trial Data. 2010 Sugar Trial Results – Syngenta Collaboration. (Updated on 12/28/2010). Available at: http://www.ag.ndsu.edu/varietytrials/carrington-rec/2010%20Trial%20Results/2010energybeet-syngenta.pdf
4) USDA/ERS (2012b). Sugar and Sweeteners: Recommended Data. U.S. Sugar Supply and Use. Table 17 – U.S. sugar beet are, yield, and production (Updated on 01/12/2012). Available at: http://www.ers.usda.gov/Briefing/Sugar/Data.htm
5) Brody, A.L. (1989). Controlled/modified atmosphere/vacuum packaging of foods. Trumbull, CN: Food & Nutrition Press, Inc.
6) Asadi, M. (2007). Sugar-Beet Handbook. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
7) Cole, D.F., Bugbee, W.M. (1976). Changes in resident bacteria, pH, sucrose, and invert sugar levels in sugarbeet roots during storage. *Appl Environ Microb*. 31(5): 754-757.
8) Klotz, K.L. (2004). Impact of temperature, length of storage and postharvest disease on sucrose catabolism in sugarbeet. *Postharvest Biol. Tec.*34(1):1-9.
0) Majumder, M., Jana, B.K. (2010). Impact of climate change on natural resource management. *Sigmoid Function*, 402. New York, NY: Springer Science+Business Media.



OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE GERMINACIÓN DE SALICORNIA BIGELOVII TRATADA CON SOLUCIONES SALINAS

JUAN DE DIOS LEÓN LARA*, ISIDRO RAMOSTORRES,
ROBERTO RODOLFO MARRUFO PINEDO, JESÚS BORBOA FÉLIX

RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados experimentales en la aplicación de tratamientos de diferentes concentraciones de Cloruro de sodio y Nitrato de sodio sobre la germinación de la semilla Salicornia bigelovii. La semilla utilizada proviene de 6 eco-tipos diferentes del estado de Sonora, cuya germinación se experimentó bajo condiciones controladas de 25°C y 100% de humedad relativa.

Los efectos de los tratamientos resultaron ser significativos (estadísticamente) en la eficiencia de germinación de la semilla en estudio, de manera que se obtuvieron tasas de germinación de hasta 97% bajo el tratamiento más prolífico: [ ] 100 mM de Cloruro de sodio y [ ] 100 mM Nitrato de sodio.

Por otra parte, se observó que la semilla del eco-tipo de mayor rendimiento proviene del estero Santa Rosa Chica, lo que lo hace atractivo, para experimentos posteriores. Además se observó que la germinación fue más temprana de lo esperado, lo que podría representar otra mejora en el proceso de producción de plantas Salicornia Bigelovii.

Palabras-clave: Germinación, halófitas, Salicornia bigelovii, diseño factorial

ABSTRACT

This article shows how to improve the efficiency percentages in the process of seed germination Salicornia bigelovii. The seed used comes from 6 different eco-types from Sonora and its germination was tested under controlled conditions of 25°C and 100% relative humidity. The process effects were statistically significant in the germination efficiency of the tested seed, in such a way that, the results showed germination rates up to 97% under the most prolific treatment : [ ] 100 mM ofsodium chloride and [ ] 100 mMof sodium nitrate. In other hand, it was observed that the seed eco-type with a higher yield comes from Santa Rosa Chica estuary, what makes it useful for future experiments. It was also observed that the germination was faster than it was expected and this could represent another improvement in the production process of the Salicornia bigelovii plants.

Keywords: *Germination, halophyte, Salicornia bigelovii, factorial design.*

DR. JUAN DE DIOS LEÓN LARA
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: jleon@industrial.uson.mx

M.C. ISIDRO RAMOS TORRES
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: isidro.ramos@industrial.uson.mx

M.C. ROBERTO RODOLFO MARRUFO PINEDO
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Sonora
Correo: marrufo@industrial.uson.mx

DR. JESÚS BORBOA FÉLIX
Departamento de Investigación y
Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora
Correo: jborboa@guayacan.uson.mx

*Autor para correspondencia: Juan de Dios León Lara
Correo electrónico: jleon@industrial.uson.mx

Recibido: 21 de marzo de 2014
Aceptado: 15 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530





INTRODUCCIÓN

La producción de algunas plantas halófitas en condiciones controladas es uno de los problemas que algunos investigadores han abordado en la búsqueda de mejorar su rendimiento. Una de ellas, la Salicornia bigelovii (espárrago de mar) es una planta halófita que se desarrolla en estado natural en el Noroeste de México y dadas sus propiedades nutricionales puede tener múltiples usos industriales, tales como la industria alimentaria, en la producción de ganado y/o como fuente de grasas para la producción de biocombustibles. En este sentido, se han dirigido variados estudios relacionados con la germinación y crecimiento de la Salicornia bigelovii. Específicamente en cuanto a la germinación a través de tratamientos de soluciones salinas.

Tal es el caso de la presente investigación, en la que se propone explorar los efectos de dos sustancias salinas: Cloruro de sodio y Nitrato de sodio como promotores de la germinación de la semilla de la Salicornia bigelovii, en la variedad regional del Noroeste de México, con el propósito de mejorar el rendimiento en la germinación bajo condiciones controladas.

ANTECEDENTES

Investigaciones como las desarrolladas por Khan, Gul y Weber (1) sobre germinación de semilla halófita utilizando niveles de dosificación de Cloruro de sodio hasta 1000 mMoles, obteniendo resultados no favorables al germinar menos del 50% de las muestras de semillas. Sin embargo, dentro de sus investigaciones muestran resultados favorables al momento de ir reduciendo las cantidades de dosis de 1000 a 100 mM de Cloruro de sodio. Esto sin especificar ni presentar los resultados con dicha disminución de dosis.

Lu, Bush, Hodges y Hodges (2), investigaron sobre los efectos de la salinidad y temperatura en la germinación de la semilla Salicornia bigelovii Torr. Ellos aplicaron niveles de salinidad en un rango de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 partes por mil, a una temperatura constante de 20º c ± 0.5º c, obteniendo un porcentaje de germinación del 60%. Determinando además, como sugerencia que a medida en que el nivel de salinidad se incrementa, la temperatura se debería disminuir.

Por otro lado, la investigación desarrollada por Parks, Dietrich y Schumaker (3), determina la cantidad de inicio de la investigación sobre la eficiencia en el porcentaje de germinación de la semilla Salicornia bigelovii, utilizando concentraciones o dosis de Cloruro de sodio.

En investigación presentada por Borboa-Flores y otros (4) sobre la eficiencia en la germinación de semilla Salicornia bigelovii, utilizando Nitrato de sodio en dosis de 100 a 600 mM, los llevó a obtener resultados de 50% de eficiencia más respecto a los sujetos de control.

Por lo anterior, se consideró necesario que en la presente investigación se tomaran en cuenta ambas soluciones de Cloruro de sodio y Nitrato de sodio, como variables de estudio, primero de una manera independiente (cada solución y concentraciones de 50 a 650 mM); posteriormente, combinando las soluciones en experimentos factoriales con la cantidad de dosis de 100 a 600 mM, por resultar mejor la eficiencia en la germinación de la semilla Salicornia bigelovii.

OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de la presente investigación es mejorar el porcentaje de eficiencia en el proceso de germinación de la semilla Salicornia bigelovii, aplicando diferentes técnicas experimentales en seis eco-tipos de semilla, con soluciones de Cloruro de sodio y Nitrato de sodio para determinar las condiciones óptimas de

operación en términos de dosificación de cada solución, para maximizar la cantidad de semilla germinada como variable respuesta.

Los objetivos específicos son:

1) Evaluar las soluciones de Cloruro de sodio $(NaCl)$ y Nitrato de sodio $(NaNO_3)$ con diferentes dosis para la germinación de semilla Salicornia bajo condiciones controladas de laboratorio.
2) Determinar la significancia de las variables soluciones de Cloruro de sodio $(NaCl)$ y Nitrato de sodio $(NaNO_3)$, aplicando el Diseño Factorial 2^2.
3) Determinación de una combinación empírica de soluciones de $(NaCl)$ y $(NaNO_3)$ que maximiza la germinación de la semilla de Salicornia.

MATERIALES Y MÉTODO

Materiales

Los experimentos se desarrollaron en el laboratorio de Entomología del Departamento de Investigación y Postgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, en Hermosillo, Sonora, México. Se utilizaron semillas de Salicornia bigelovii provenientes de 6 eco-tipos diferentes del estado de Sonora (Tabla 1). Para efectos del control de las condiciones de germinación se utilizó una germinadora automática.

Tabla 1. Procedencia geográfica de eco-tipos de semillas.

Estero Santa Rosa Grande
Estero Santa Rosa Chica
Estero Cerro Prieto Peñasco
Estero S.O.S. de Bahía de Kino
Estero Santa Cruz
Estero Punta Banda

Metodología

La metodología seguida en el presente trabajo de investigación incluyó 6 pasos como puede verse en la diagrama de flujo de la figura 1.

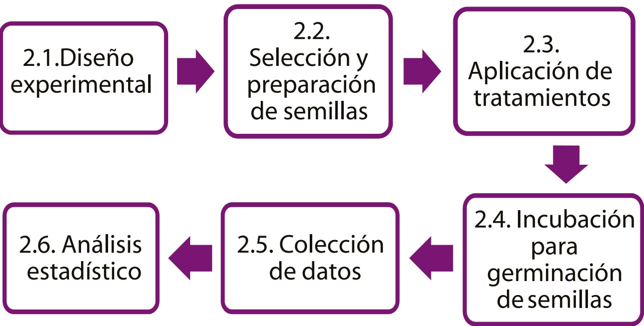


Figura 1. Metodología de investigación.



2.1. Diseño experimental

a) Diseños en bloques completamente aleatorizados

Este modelo se utilizó en dos experimentos independientes, aplicando tratamiento con Cloruro de sodio $(NaCl)$ ó Nitrato de sodio $(NaNO_3)$.

El modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \qquad (1)$$

Dónde:

Y_{ij} : Cantidad de semillas germinadas por lote.
μ : Es la media general.
τ_i : Efecto del $i - ésima$ concentración $(NaCl)$ ó, como tratamientos con niveles de ($i = 50,100,350,600,650$) [ ] mMoles, Tabla 2).
β_j: Efecto de bloque $j - ésimo$ eco-tipo ($j = 1,2,3,4,5,6$).
ε_{ij} : Error aleatorio.

Tabla 2. [ ] Concentraciones de Nitrato de sodio $(NaNO_3)$ y Cloruro de sodio $(NaCl)$.

[ ] (mM)	$NaNo_3$ al 99.6% (g)	$NaCl$ al 99.7% (g)
50	4.267	2.920
100	8.530	5.860
350	29.860	20.510
600	51.190	35.160
650	55.460	38.900

b) Diseño factorial 2^2

El modelo aplicado tuvo el factor A: Cloruro de sodio $(NaCl)$ y el B: Nitrato de sodio $(NaNO_3)$, con 2 niveles cada uno de [ ] 100 y [ ] 600 mMoles respectivamente.

El modelo lineal estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (2)$$

Dónde:

Y_{ij} : Cantidad de semillas germinadas por lote.

μ : Efecto medio general.

τ_i : Efecto del Cloruro de sodio, $i-\acute{e}sima$ [ ], $i = 100, 600\ mMoles$.

β_j : Efecto del Nitrato de sodio $j-\acute{e}sima$ [ ], $j = 100, 600\ mMoles$.

$\tau\beta_{ij}$: Efecto de interacción,

ε_{ijk} : Componente del error aleatorio.

2.2. Selección y preparación de semillas

Se seleccionaron semillas de 6 eco-tipos del estado de Sonora (Tabla 1). Se formaron lotes de 50 semillas de cada eco-tipo para cada tratamiento de los experimentos. Posteriormente fueron lavadas con agua destilada.

2.3. Aplicación de tratamientos

Cada lote se trató con soluciones de Cloruro de sodio y/o el Nitrato de sodio por inmersión por 24 horas (Figura 2). Las concentraciones aplicadas obedecen al tratamiento especificado (Tabla 3).



Figura 2. Aplicación de tratamientos por inmersión.

Tabla 3. Anova para NaCl (obtenida de Minitab 15 ©).

Fuente	GL	SC	MC	F	P
[ ] mM NaCl	4	302.20	75.55	4.25	0.012
Eco-tipo	5	631.87	126.37	7.10	0.001
Error	20	355.80	17.79		
Total	29	1289.87			

2.4. Incubación para germinación de semillas

La germinación de las semillas se propició en pequeñas parcelas artificiales (cajas de Petri) de 50 semillas y mantenidas en una incubadora automática bajo condiciones homogéneas de 25°C de temperatura y una humedad relativa de 100% por 15 días (Figura 3).



Figura 3. Incubación de semillas.

2.5. Colección de datos

Después de 15 días de incubación, se realizó el conteo de semillas germinadas de cada tratamiento (parcela), siguiendo lo establecido en la ISTA (Figura 4).

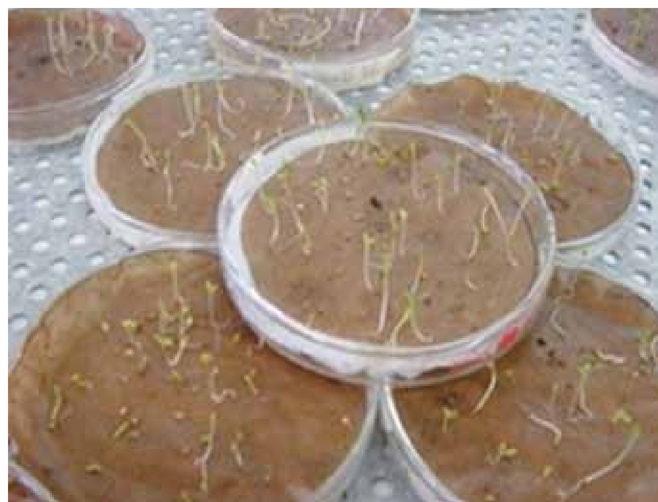


Figura 4. Conteo de semillas germinadas.

2.6. Análisis estadístico

Principalmente se utilizó análisis de varianza correspondiente a cada experimento con apoyo de gráficas. La confiabilidad del análisis de varianza se sustenta con la adecuación del modelo estadístico utilizado. La secuencia de experimentación se muestra en la figura 5.

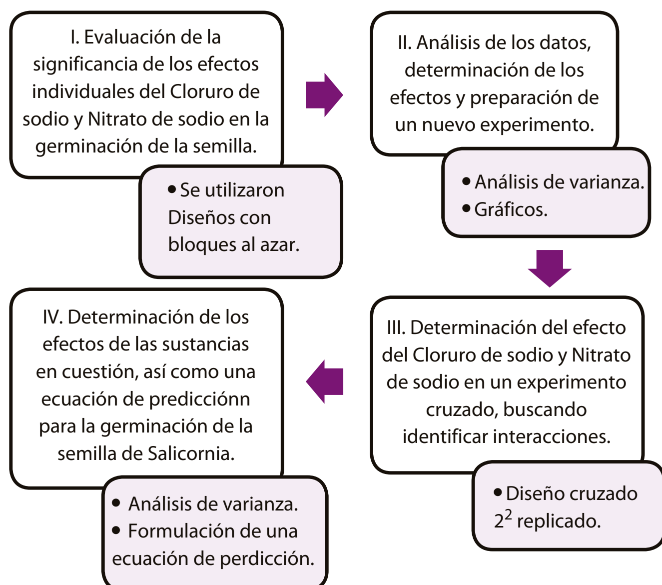


Figura 5. Secuencia de experimentación.

RESULTADOS

1. Evaluación de los efectos del Cloruro de sodio y Nitrato de sodio

a) Experimento con bloques aleatorizados aplicando 5 diferentes concentraciones de Cloruro de sodio *(NaCl)*

La germinación por concentraciones y diferentes eco-tipos se muestran en las gráficas de la figura 6, en la cual se observa un comportamiento diferenciado de una misma concentración en los distintos eco-tipos. Esta diferencia se ve en la figura 7, la que sugiere que la [ ] 100 mM de NaCl podría ofrecer una mayor germinación en promedio en cualquier eco-tipo.

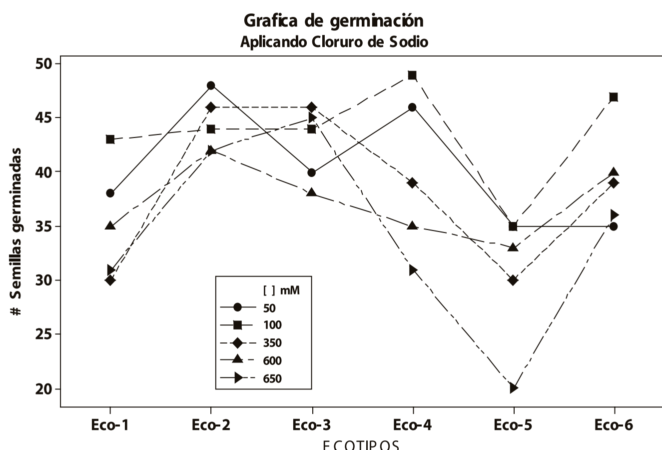


Figura 6. Germinación de semilla Salicornia bigelovii para cada concentración utilizada en los 6 eco-tipos diferentes (Obtenida de Minitab 15 ©).

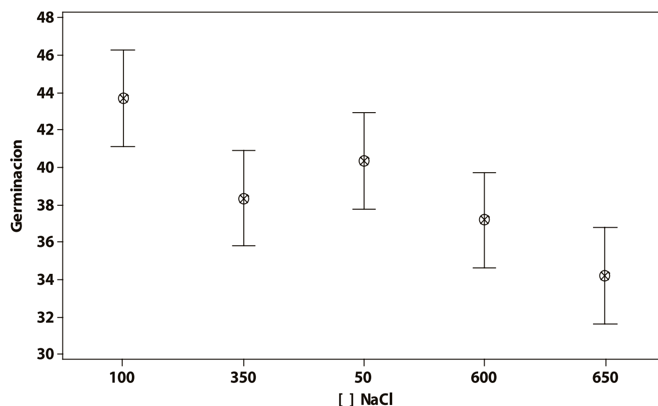


Figura 7. IC (95%) para cada concentración (Obtenida de Minitab 15 ©).

b) Experimento con bloques aleatorizados aplicando 5 diferentes concentraciones de *($NaNo_3$)*

La germinación por concentraciones y diferentes eco-tipos se muestran en las gráficas de la figura 8, en la cual se observa un comportamiento diferenciado de una misma concentración en los distintos Eco-tipos. Esta diferencia se observa en la figura 9, la que sugiere que la [ ] 100 mM de $(NaNO_3)$ podría ofrecer una mayor germinación en promedio en cualquier eco-tipo.

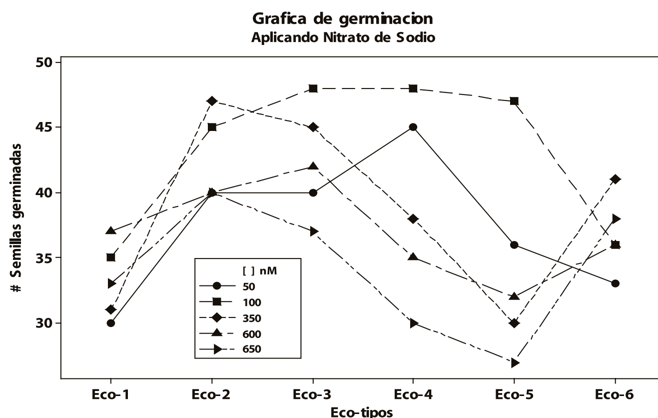


Figura 8. Germinación de semilla Salicornia bigelovii para cada concentración utilizada en los 6 eco-tipos diferentes (Obtenida de Minitab 15 ©).



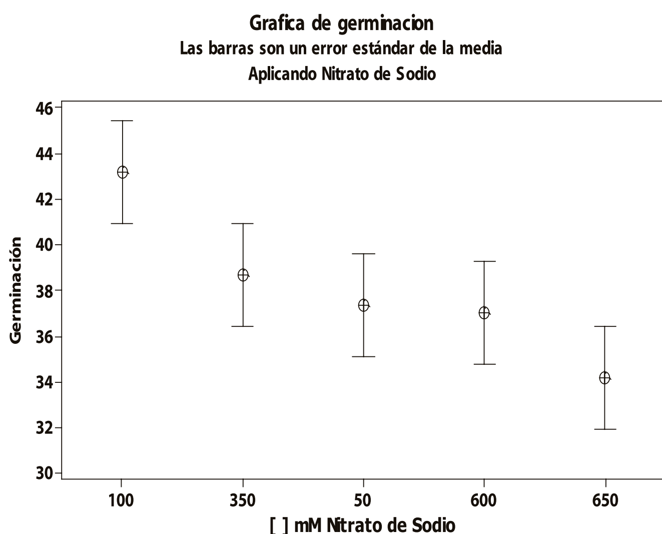


Figura 9. Germinación de semilla Salicornia bigelovii para cada concentración utilizada en los 6 eco-tipos diferentes(Obtenida de Minitab 15 ©).

c) Los efectos a nivel individual del Cloruro de sodio $(NaCl)$ y Nitrato de sodio $(NaNO_3)$

A pesar de las diferencias en los eco-tipos, son estadísticamente significativos como se muestra en las tablas de análisis de varianza (Tablas 3 y 4). Lo importante de esta conclusión es que los efectos de los tratamientos son significativos, es decir, que su efecto modifica la germinación de la semilla.

Tabla 4. Anova para $NaNO_3$ (Obtenida de Minitab 15 ©).

Fuente	GL	SC	MC	F	P
[ ] mM Na NO3	4	259.53	64.88	3.39	0.028
Eco-tipo	5	387.87	77.57	4.06	0.011
Error	20	382.47	19.12		
Total	29	1029.87			

d) Determinación del efecto conjunto (Interacción) de los factores *NaCl* y *NaNo*$_3$

Una vez probado el efecto de manera individual del $NaCl$ y $NaNO_3$ sobre la germinación de la semilla, se planteó un segundo experimento 2^2 para observar un posible efecto combinado de ambas sustancias e iniciar la búsqueda de una combinación de ambas sustancias que tuviera un mayor rendimiento en la germinación; para ello, se aplicaron las concentraciones de 100 y 600 mMoles de cada factor $NaCl$ y $NaNO_3$. Las semillas utilizadas fueron las del eco-tipo 2 que corresponden al Estero Santa Rosa Chica, la cual presentó mayor cantidad de semillas germinadas en la etapa anterior del diseño en bloques al azar.

El comportamiento medio por niveles de los tratamientos se muestra en la figura 10 en la que se observa que el tratamiento con concentraciones de 100 mMoles de ambas sustancias se obtiene el mayor rendimiento (de las concentraciones utilizadas), siendo ligeramente dominante la [ ] 100 mMoles de $NaCl$ Por otra parte, el menor rendimiento se observa bajo los efectos de los niveles de 600 mMoles de $NaCl$ y $NaNO_3$.

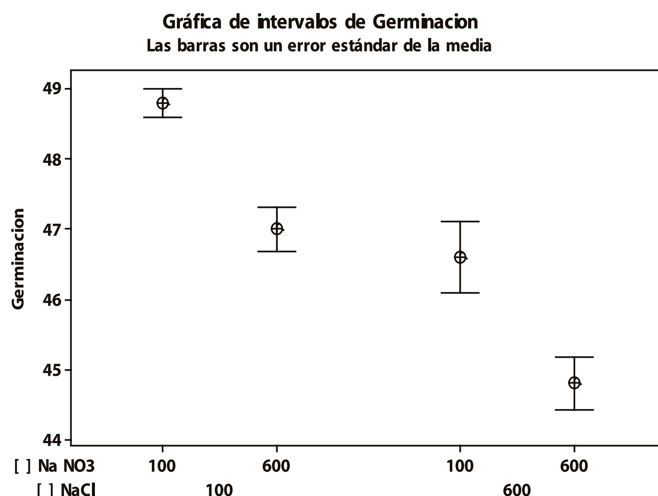


Figura 10. Gráfico de comportamientos medios para cada tratamiento de [ ] de $NaCl$ y $NaNO_3$ (Obtenida de Minitab 15 ©).

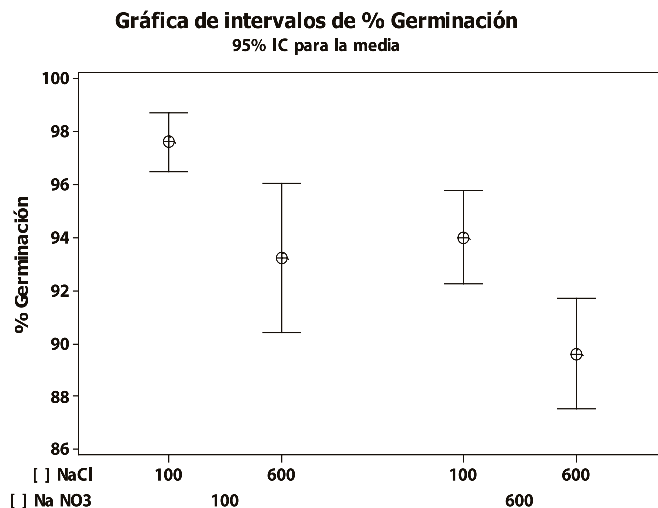


Figura 11. Gráfica de intervalos de porciento de germinación por tratamientos (Obtenida de Minitab 15 ©).

El análisis de varianza correspondiente confirma la significancia de los efectos de los factores $(NaCl)$ y $(NaNO_3)$ (Tabla 5); sin embargo, no se confirma la posibilidad de un efecto conjunto entre ambos factores como se observa en la figura 12 y se confirma en la Anova (Tabla 5).

Tabla 5. Anova 2^2 con factores $(NaCl)$ y $(NaNO_3)$ (Obtenida de Minitab 15 ©).

Fuente	GL	SC sec.	MC ajust	F	P
[ ] NaCl	1	24.20	24.200	35.85	0.000
[ ] Na NO3	1	16.200	16.200	24.00	0.000
[ ] NaCl*[ ]Na NO3	1	0.000	0.000	0.00	1.000
Error	16	10.800	0.675		
Total	19	51.200			

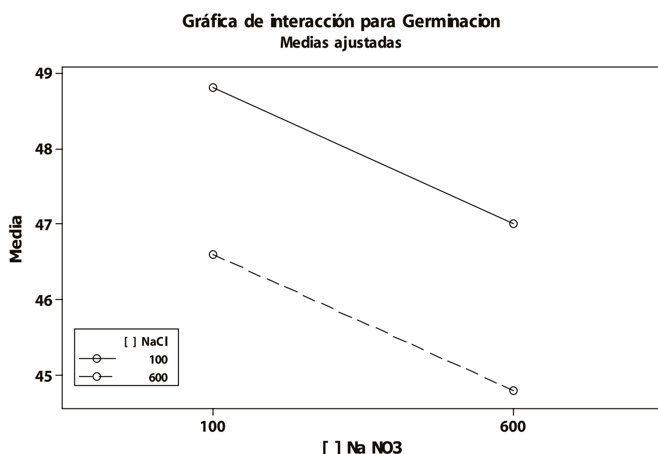


Figura 12. Gráfica de efectos medios de los factores $(NaCl)$ y $(NaNO_3)$ (Obtenida de Minitab 15 ©).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en cuanto a la contundencia de los efectos de las diferentes concentraciones de Cloruro de sodio y Nitrato de sodio son consistentes con anteriores investigaciones relacionadas; esto es, que a diferentes concentraciones de ambas sustancias se obtienen rendimientos significativamente distintos; sin embargo, en este caso, con la variedad regional de Salicornia bigelovii, las sustancias probadas mejoran el rendimiento obtenido en otras condiciones experimentales. Se obtuvieron, bajo concentraciones de [ ] 100 mM de Cloruro de sodio y [ ] 100 mM de Nitrato de sodio, los mejores rendimientos cercanos al 98% de germinación.

Cabe señalar también, que se observó una reducción notable en el tiempo de respuesta en la germinación de la semilla Salicornia bigelovii (no esperada); después de 6 días se inició la germinación contra hasta 15 días esperados que enmarca la norma International Seed Testing Association.

Los resultados obtenidos son alentadores en cuanto a la respuesta de la germinación de la semilla de la Salicornia bigelovii Regional. Sin embargo para argumentar que se haya obtenido una combinación óptima de concentraciones del Cloruro de sodio y Nitrato de sodio o cercana a la óptima, será necesario utilizar una herramienta experimental de optimización que es motivo de una nueva investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1) Khan, M.A., B. Gul, and Weber, D.J. (2002). Improving seed germination of Salicornia rubra. (Chenopodiaceae) under saline conditions using germination regulating chemicals. Western North American Naturalist 62: 101-105. (USA).
2) Lu, Z., Bush, D.L., Hodges, R.M., Hodges, C.N. (2014). Effects of salinity and temperature on seed germination of Salicornia bigelovii Torr. American Society of Plant Biologists. Consulta libre en: http://abstracts.aspb.org/pb2001/public/P27/0925.html. 25 de junio de 2014.
3) Parks, G.E., Dietrich, M. and Schumaker, K. S. (2001). Increased vacuolar Na^+/H^+ exchange activity in *Salicornia bigelovii* Torr. In response to NaCl. Journal of Experimental Botany. Consulta libre en: http://jxb.oxfordjournals.org/content/53/371/1055.short. 25 de junio de 2014.
4) Borboa-Flores J., Ortega-Nieblas M.,Wong-Corral F.J., Fu-Castillo A. (2005). Efecto del Nitrato de Sodio sobre la germinación de seis ecotipos de *Salicornia bigelovii* del noroeste de México. V Congreso del Noroeste y I Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología. Hermosillo, Sonora, del 9 al 12 de noviembre 2005.





RECURSOS FLORÍSTICOS DE LA CUENCA BAJA DEL RÍO MAYO, SONORA

JULIO CÉSAR DUARTE RUIZ*, RENATO OSUNA RAMÍREZ, TERESITA DE JESÚS PARRA VALENCIA

RESUMEN

En México se presentan prácticamente todos los grandes tipos de vegetación que existen en el mundo y su distribución a menudo es compleja. El objetivo del trabajo consistió en realizar un listado de la flora silvestre ribereña del Río Mayo, localizado en el sur del estado de Sonora, para conocer su composición. La recolección de especímenes se realizó mediante la técnica de intercepción o línea de Canfield (1941), en 15 sitios con dos repeticiones sumando 30 transectos. Se encontraron un total de 40 familias, 79 géneros y 99 especies. Las familias mejor representadas fueron: Leguminosae, Cactaceae, Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae, Salicaceae, Solanaceae, Euphorbiaceae, Amaranthaceae y Asteraceae. La dominante fue Leguminoseae con vegetación de bosque espinoso compuesta por Acacia cymbispina, Acacia farnesiana, Parkinsonia aculeata y Prosopis juliflora. Resulta perceptible la pérdida de flora debido al cambio de uso de suelo. Especies representativas de la zona riparia como Populus fremontii y Salix bonplandiana están desapareciendo por alteración del ecosistema. Poblaciones de mangle como Rhizophora mangle y Conocarpus erectus están disminuidas. El área estudiada es rica en especies a pesar de la perturbación. La diversidad varía de acuerdo al gradiente altitudinal y el número de especies guarda relación con los géneros y familias recolectadas. La agricultura, acuicultura, ganadería, la industria pesquera y la urbanización, son los giros que causan mayor afectación en los ecosistemas.

Palabras-clave: Recursos florísticos, Río Mayo, ecosistemas, afectación.

ABSTRACT

In Mexico are present practically all major types of vegetation that exist in the world and their distribution is often complex. The objective of this work is making a list of wild flora of the Mayo River located in the south of Sonora in order to know its composition. Collection of specimens held by the technique of interception or line of Canfield (1941), in 15 sites with two repetitions adding 30 transects. We have met a total of 40 families, 79 genera and 99 species. The best-represented families were Leguminosae, Cactaceae, Gramineae, Compositae, Chenopodiaceae, Salicaceae, Solanaceae, Euphorbiaceae, Amaranthaceae and Asteraceae. The parent was Leguminosae with spiny forest vegetation composed of Acacia cymbispina, Acacia farnesiana, Parkinsonia aculeata and Prosopis juliflora. It is perceivable loss of flora due to change of land use. Representative species of area riparia as Populus fremontii and Salix bonplandiana are disappearing by alteration of the ecosystem. Populations of mangrove as Rhizophora mangle and Conocarpus erectus are diminished. The studied area is rich in species despite the disruption. Diversity varies according to the gradient and the number of species related to the genera and families collected. Agriculture, aquaculture, livestock, fishing and urbanization, are the twists that cause greater affectation in ecosystems.

Keywords: *Floristic resources, Mayo River, ecosystems, affectation.*

M.I. JULIO CÉSAR DUARTE RUIZ
Unidad Regional Sur, Universidad de Sonora
Correo: jcduarte@navojoa.uson.mx
BIOL. RENATO OSUNA RAMÍREZ
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Correo: rosunar@hotmail.com

M.I. TERESITA DE JESÚS PARRA VALENCIA
Unidad Regional Sur, Universidad de Sonora
Correo:tparra@navojoa.uson.mx

*Autor para correspondencia: Julio César Duarte Ruíz
Correo electrónico: jcduarte@navojoa.uson.mx
Recibido: 12 de marzo de 2013
Aceptado: 07 de abril de 2014
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

El Río Mayo nace en el estado de Chihuahua y desemboca en el Golfo de California en el municipio de Huatabampo, entre los poblados Tabaré y Etchoropo, pasando por los municipios de Álamos, Navojoa, Etchojoa y Huatabampo. La principal problemática de la parte baja de la cuenca del Río Mayo es la modificación de su entorno natural, dada por la construcción de presas y sistemas hidráulicos para control de avenidas, generación de energía eléctrica y riego; explotación forestal, construcción de carreteras, desmontes y desvío de corrientes (4). Su cauce se ha contaminado por agentes de diversas características que provienen de descargas de aguas residuales municipales, agrícolas, porcícolas y acuícolas; por el abuso de agroquímicos en la planicie costera, quema de residuos agrícolas, ampliación de zonas de cultivo, ganadería, extracción de materiales pétreos y desechos mineros de las partes altas; todo como producto de los giros económicos de la región y de las zonas de urbanización (2 y 4). La vegetación del Río Mayo de la costa a la montaña está formada por dunas costeras, manglares, mezquitales, vegetación riparia, selva baja caducifolia, pastizal inducido, bosques de encino y pino en la parte alta. Las principales actividades económicas son la agricultura, pesca, acuicultura, actividad forestal, generación de energía eléctrica y turismo de bajo impacto (3). El clima predominante en la cuenca por su grado de humedad, varía de muy seco a semiseco; por su temperatura, de muy cálido a semicálido en la mayor parte del área. La temperatura media anual oscila entre 20 y 22°C registrándose la más elevada en el oeste y en las cañadas del río; la más baja en el este, donde el relieve es montañoso. La precipitación media anual fluctúa de 200 a 400 mm en la parte baja de la cuenca y de 750 mm en la parte alta localizada en la Sierra Madre Occidental (12).



Un listado florístico es un catálogo de todas las plantas que crecen en un territorio determinado. Su realización se basa en la exhaustiva exploración del área con el propósito de registrar la presencia del mayor número posible de las especies vegetales que lo pueblan, recurriendo a criterios fundamentados en principios ecológicos para determinar cuáles sitios son los más representativos de su diversidad vegetal (11). En este trabajo se realizó un listado florístico representativo de la flora silvestre ribereña de la Cuenca Baja del Río Mayo, para conocer su composición y las posibles causas de su afectación.

ANTECEDENTES

México es un país muy diverso en cuanto a sus tipos de vegetación, prácticamente todos los grandes tipos de vegetación que existen en el mundo se presentan en el país y su distribución a menudo es compleja en función de la amplia variedad de topografía, climas y suelos (14). Forma parte de los países más ricos en flora, junto a Brasil, Colombia, China e Indonesia, tiene una alta diversidad biológica en plantas vasculares y uno de los mayores índices de especies endémicas (8).

La región norte y noroeste de México donde se localiza el estado de Sonora, presenta matorrales desérticos, chaparral, pastizal, matorrales semiáridos, bosques templados y matorrales asociados (7), mientras que la flora del estado contiene actualmente 3,659 taxones específicos e intraespecíficos en 188 familias y 1,107 géneros, documentada con ejemplares de herbario (15). Howard Scott Gentry entre 1933 y 1939 realizó uno de los más importantes estudios de vegetación en Sonora recolectando especies de plantas en la región del Río Mayo y parte de Chihuahua. Años más tarde, en 1942, Gentry dedicó sólo sus esfuerzos a estudiar la vegetación riparia del Río Mayo previo a la construcción de la presa Adolfo Ruiz Cortines (Mocúzari) sobre su cauce. En su recorrido encontró especies indicadoras del ecosistema como: *Populus fremontii*, *Vallesia glabra*, *Guazuma ulmifolia*, *Baccharis glutinosa*, *Salix sp*, *Lycium sp*. (6 y 13). Su trabajo fue actualizado en la década de 1970 por iniciativa de un grupo de botánicos de la Universidad

de Arizona encabezados por Paul S. Martin, expandieron su trabajo y lo publicaron bajo el nombre de *Gentry's Río Mayo Plants: The Tropical Deciduous Forest and Environments of Northwest México* (9). Esta publicación reporta un poco más de 2,800 especies de plantas que incluyen especímenes encontrados desde la costa del Océano Pacífico (altitud: 25 msnm) hasta las partes altas de la Sierra Madre Occidental (13).

OBJETIVOS DEL TRABAJO

Realizar un listado florístico de los ecosistemas de cauce y costero de la Cuenca Baja del Río Mayo para conocer la flora que compone al sistema en esta parte de la cuenca.

Explicar las posibles causas de la pérdida de especies ribereñas en el área de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprendió la cuenca baja del Río Mayo, delimitada por el Distrito de Riego 038 Río Mayo Sonora, entre los paralelos 27º 15’ y 26º 49’ de latitud Norte y los meridianos 109º 20’ y 109º 45’ de longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich, a partir de la presa de almacenamiento Adolfo Ruiz Cortines (Mocúzari) ubicada a 40 km aguas arriba de la ciudad de Navojoa Sonora, hasta su desembocadura en el Golfo de California (2) (Figura 1).

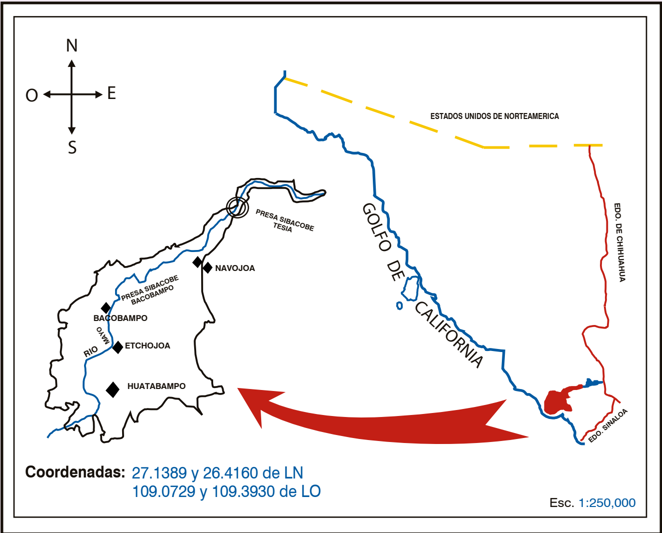


Figura 1. Localización del área de estudio.

Para el muestreo se dividió la cuenca según tipo de vegetación: a) zona de cauce, b) zona de transición, y c) zona costera (Figura 2). La zona de cauce comprende desde el sitio 1 hasta el sitio 12, la de transición situada en el sitio 13 y la costera desde el sitio 14 hasta el 15. Se muestrearon 15 sitios con 2 repeticiones y 30 transectos a lo largo de 90 km (Tabla 1; Figura 2). Se aplicó el método de Canfield o *"Método de Intercepción en Línea"*, utilizado para obtener estimaciones relativas a cobertura y frecuencia en comunidades de poca altura con follajes más o menos compactos, arrojando listados de alta confiabilidad (5). El método se basó en realizar transectos en línea de 30 m de longitud, a través del cual se registró la especie que fue interceptada por la línea no importando si se trataba de plantas individuales o de cúmulos de individuos.



Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo.

NÚMERO	NOMBRE DEL SITIO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
1	Presa del Mocúzari	27º 13’ 89”	109º 07’ 29”
2	Barrio Cantúa	27º 13’ 21”	109º 13’ 76”
3	Santa Rosa	27º 13’ 84”	109º 19’ 84”
4	Tesia	27º 10’ 63”	109º 21’ 58”
5	Sibacobe	27º 08’ 62”	109º 25’ 02”
6	Pueblo Viejo	27º 06’ 24”	109º 26’ 02”
7	San Ignacio	27º 06’ 37”	109º 25’ 95”
8	Jitonhueca	27º 03’ 32”	109º 35’ 42”
9	Guayparín	26º 57’ 18”	109º 38’ 75”
10	Campanichaca	26º 54’ 58”	109º 38’ 81”
11	Huichaca	26º 38’ 81”	109º 41’ 89”
12	Etchoropo	26º 46’ 73”	109º 40’ 81”
13	Cauteve	26º 45’ 41”	109º 44’ 58”
14	Boca del Río	26º 44’ 72”	109º 45’ 69”
15	Boca del Mayo	26º 41’ 60”	109º 39’ 30”

La mayoría de las especies encontradas se identificaron en campo con guías taxonómicas. Las especies no identificadas se prensaron e identificaron usando como fuente las colecciones del herbario del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), bajo la consulta y asesoría del responsable del herbario, Ingeniero Jesús Sánchez-Escalante. En cada sitio se tomaron coordenadas y altitud con un GPS, Garmin versión 2.01 con software de 4.58 modelo 2000 y 12 canales con error de 10 metros.



Figura 2. Localización de los sitios de muestreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Perfil topográfico del cauce

El Río Mayo en su cuenca baja presenta un perfil topográfico poco abrupto a lo largo de 90 km, alcanzando los 140 msnm en su parte más alta. Los resultados obtenidos indican que a mayor altitud sobre el cauce, menor es la pérdida de flora, por el contrario, en la parte más baja del cauce se observó una mayor presión sobre el recurso. La pérdida de especies en este caso se debe a las actividades antropogénicas, ya que a mayor altitud es menor la urbanización, aumenta la agricultura extensiva y la acuicultura en la zona costera (16). Con relación a esto se señala que la última zona es la más afectada, ya que la extensión de terreno dedicada a la acuicultura en el estado de Sonora se incrementó notablemente; en 1997 se contaba con 81 granjas de camarón que ocupaban una extensión de 7,428 ha, para el 2012 las granjas fueron del orden de 140 solo de camarón según el Comité de Sanidad Acuícola del Estado de Sonora, A.C. En tanto que en el 2003, la superficie total sembrada de diferentes especies fue de 11,373 ha y la producción de 36,247 ton, con un rendimiento de 3.18 ton/ha; en el informe final del ciclo 2012 se tuvo una superficie instalada de 25,585 ha y una producción de 33,198 ton, de las cuales 10,596 ha y 17,058 ton correspondieron a las regiones Centro y Sur, entre el Puerto de Guaymas y Santa Bárbara, este último, un campo pesquero situado en la zona estuarina de la boca del Río Mayo (17). Este crecimiento generó un importante impacto sobre los humedales costeros, directamente por la destrucción del manglar e indirectamente por la modificación de la calidad del agua e hidrodinámica de los esteros. La figura 3 muestra un esquema del perfil topográfico de la cuenca en función de la altitud de cada uno de los sitios de muestreo.

La zona de cauce es un sistema donde interactúan flora y fauna con los elementos abióticos. Este sistema está representado por la selva baja caducifolia, bosque de galería compuesto por *Populus fremontii* (álamo) y *Salix bonplandiana* (sauce), y el bosque espinoso compuesto por *Prosopis juliflora, Acacia farnesiana, A. cymbispina y Mimosa asperata*. Los bosques de galería son importantes corredores biológicos, albergan gran número de fauna silvestre y desempeñan funciones de sustento y de recreación para los humanos (14).

La zona de transición es representada por la interacción de la zona de cauce y la zona costera. Aquí el bosque de galería desaparece de la cuenca. En cuanto a la zona costera, es representada por plantas que toleran la alta salinidad o halófitas como *Salicornia virginica, Maythenus Phyllantoides, Allenrolfea occidentalis y Lycium californicum.* (10).

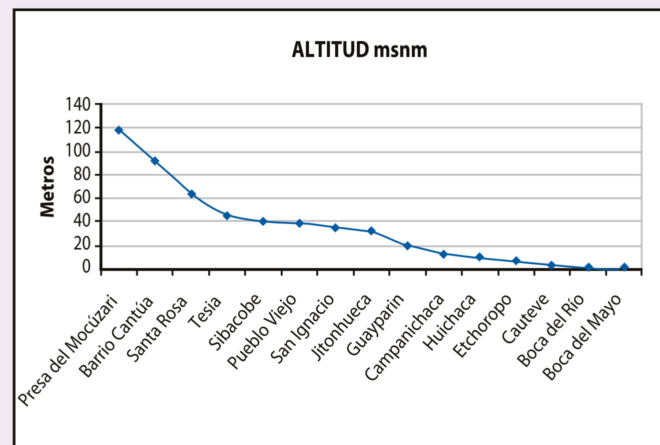


Figura 3. Perfil topográfico de los sitios de muestreo.





COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Se encontraron 99 especies, 79 géneros y 40 familias, mostradas en la tabla 2**.** La familia con más géneros y especies en el área es la *Leguminosae*, compuesta por 9 géneros y 14 especies. La familia de las leguminosas es la segunda familia con mayor número de especies en México y es probable que por ello sea la más representativa del área de estudio; además, las especies que la conforman son típicas de zonas áridas y semiáridas como *Prosopis juliflora*, que generalmente está presente en las primeras etapas sucesionales de comunidades vegetales perturbadas, característica de matorrales espinosos, siendo esta especie la más representativa tanto de la familia como de la cuenca baja en general (14).

Tabla 2. Composición taxonómica de la Cuenca Baja del Río Mayo.

FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
Aizoaceae	1	1	Gramineae	6	6
Amaranthaceae	2	5	Leguminosae	9	14
Apocynaceae	1	1	Loranthaceae	1	1
Asclepiadaceae	1	1	Malpighiaceae	2	2
Asteraceae	2	3	Malvaceae	2	2
Avicenniaceae	1	1	Menispermaceae	1	1
Batidaceae	1	1	Martyniaceae	1	1
Boraginaceae	1	1	Nyctaginaceae	1	1
Burseraceae	1	1	Palmae	1	1
Cactaceae	8	11	Papaveraceae	1	1
Celastraceae	1	1	Rizoforaceae	1	1
Compositae	5	8	Salicaceae	4	5
Combretaceae	2	2	Solanaceae	3	4
Convolvulaceae	1	2	Sterculiceae	1	1
Cruciferae	1	1	Tamaricaceae	1	1
Cyperaceae	1	1	Ullmaceae	1	1
Chenopodiaceae	4	4	Verbenaceae	1	1
Ebenaceae	1	1	Visaceae	1	1
Euphorbiaceae	3	4	Vitaceae	1	1
Geraniaceae	1	1	Zygophyllaceae	1	1

RIQUEZA FLORÍSTICA DE LA CUENCA

Para tener el listado florístico de toda el área de estudio se unieron las zonas de cauce, transición y costera. La tabla 3 muestra la composición de las especies encontradas. Según la Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-059-2001 para la protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio, listado de especies en riesgo (19); se encontró que la especie *Guayacum coulteri* está bajo protección especial*, Rhizophora mangle, Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa* bajo protección especial, y *Mammillaria saboae* amenazada. Por otra parte, las especies mejor representadas son: *Prosopis juliflora* con 46 individuos en la muestra, *Populus fremontii* 42, *Parkinsonia aculeata y Acacia farnesiana* con 40 cada una, *Phitecellobium dulce* 26, *Prosopis glandulosa* 24*, Baccharis glutinosa* 23, *Vallesia glabra* 21, *Datura discolor* 20 y *Salix bonplandiana* 19.

Julio César Duarte Ruíz et al.: UNISON / EPISTEMUS 16 / Año 8/ 2014/ pág.: 36-43

Tabla 3. Listado florístico de la Cuenca Baja del Río Mayo.

FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ZONA DE UBICACIÓN
Aizoaceae	Sesuvium verrucosum	Siempre viva	Costera
Amaranthaceae	Amaranthus sp.	Quelite cenizo	Costera
	A. hibridus	Quelite común	Cauce
	A. maricatus	Quelite del mar	Costera
	A. spinosus	Quelite espinoso	Cauce y trans.*
	Salicornia virginica	Salicornia	Costera
Apocynaceae	Vallesia glabra	Citavaro	Cauce y trans.
Asclepiadaceae	Cryptostegia grandiflora	Liana	Cauce y trans.
Asteraceae	Hymenoclea monogyra	Jécota	Costera
	Verbesina encelioides	Girasol	Costera
	V. grayii	Girasolillo	Costera
Avicenniaceae	Avicennia germinans	Mangle negro	Costera
Batidaceae	Batis maritima	Deditos	Costera
Boraginaceae	Tournefortia hartwegiana	Tatachinole	Cauce
Burseraceae	Bursera sp.	Torote	Costera
Cactaceae	Ferocactus wislizenii	Biznaga	Costera
	Lemairocereus thurberi	Pitaya	Costera
	Mammillaria sp.	Biznaga	Costera
	M. microcarpa	Cabeza de viejo	Costera
	Opuntia fuliginosa	Nopal	Costera
	O. gosseliniana	Nopal	Cauce y costera
	O. fulgida	Choya	Cauce y costera
	Pachycereus pecten-aboriginum	Etcho	Cauce y costera
	Peniocereus striatus	Sina	Costera
	Rathbunia alamosensis	Sina	Cauce
	Stenocereus alamosensis	Muso	Costera
Celastraceae	Maytenus phyllanthoides	Mangle dulce	Costera
Compositae	Ambrosia sp	Estafiate	Cauce
	A.ambrosioides	Chicura	Cauce
	A. confertiflora	Estafiate chino	Cauce
	Baccharis glutinosa	Batamote	Cauce y trans.
	B. sarothroides	Cardo	Cauce
	Encelia farinosa	Rama blanca	Cauce y costera
	Xanthium saccharatum	Huichori	Cauce
	Sonchus asper	Chinita	Cauce
Combretaceae	Conocarpus erectus	Mangle botoncillo	Costera
	Laguncularia racemosa	Mangle blanco	Costera
Convolvulaceae	Ipomea sp	Trompillo	Cauce
	I. pes-caprae	Rastrera	Costera
Cruciferae	taraxacum offinates	Mostaza	Cauce
Cyperaceae	Cyperus esculentus	Coquillo	Cauce y trans.
Chenopodiaceae	Allenrolfea occidentalis	Chamizo	Trans. y costera
	Atriplex barclayana	Atriplex	Costera
	Lycium californicum	Chamizo	Costera
	Suaeda esteroa	Chamizo	Costera
Ebenaceae	Diospyrus sonorae	Guayparín	Cauce
Euphorbiaceae	Euphorbia prostrata	Golondrina	Cauce
	Jatropha cardiophylla	Sangrengado	Cauce
	J. cinerea	Sangrengado bichi	Costera
	Ricinus communis	Higuerilla	Cauce
Geraniaceae	Erodium cicutarium	Alfilaria	Cauce
Gramineae	Arundo donax	Carrizo	Cauce y trans*
	Bouteloua eriopoda	Zacate salado	Cauce y trans
	Cenchrus ciliaris	Zacate buffel	Cauce y trans
	Cynodon dactylon	Zacate bermuda	Cauce
	Distichlis spicata	Zacate del mar	Costera
	Echinochloa colonum	Zacate rayado	Cauce
Leguminoseae	Acacia constricta	Vinoramita	Cauce
	A. cymbispina	Winolo	Cauce
	A. erioloba	Uña de gato	Cauce
	A. farnesiana	Vinorama	Cauce
	A. willardiana	Vara blanca	Cauce
	Albizzia sinaloenses	Joso	Cauce
	Caesalpinia pulcherrima	Tabachín	Cauce
	Cassia covesii	Hojas en vainita	Cauce
	Leucaena glauca	Guaje	Cauce
	Mimosa asperata	Dormilona	Cauce y trans
	Parkinsonia aculeata	Guacaporo	Cauce y trans
	Phitecellobium dulce	Guamúchil	Cauce y trans
	Prosopis juliflora	Mezquite	Cauce, trans. y costera
	P. velutina	Mezquite	Cauce
Loranthaceae	Struthanthus palmen	Tojillo	Cauce
Malpighiaceae	Janusia sp.	Gallinita Ceniza	Cauce
	Mascagnia macroptera	Gallinita	Cauce
Malvaceae	Malva parviflora	Malva	Cauce y costera
	Sphaeralcea ambigua	Mal de ojo	Cauce
Menispermaceae	Cocculus diversifolius	Huichori	Cauce
Martyniaceae	Proboscidea parviflora	Cuernito	Costera
Nyctaginaceae	Abronia maritima	Abronia del mar	Costera
Palmae	Washingtonia filifera	Palma	Cauce
Papaveraceae	Argemone platyceras	Cardo espinoso	Cauce
Rizoforaceae	Rhizophora mangle	Mangle rojo	Costera
Salicaceae	Cardiospermum corindum	Tomatillo silvestre	Cauce
	Physalis sp	Tomatillo	Cauce
	Populus fremontii	Álamo	Cauce y trans
	Salix babilónica	Sauce llorón	Cauce
	S bonplandiana	Sauce	Cauce
Solanaceae	datura discolor	Toloache	Cauce
	Lycium berlandieri	Salicieso	Trans y costera
	L. californicum	Salicieso de mar	Costera
	Solanum elaeagnifolium	Saca la manteca	Cauce
Sterculiceae	Guazuma ulmifolia	Guásima	Cauce
Tamaricaceae	Tamaris gallica	Pino salado	Cauce, trans. y costera.
Ullmaceae	Celtis pallida	Garambullo	Cauce
Verbenaceae	Líppia alba	Valeriana	Cauce
Visaceae	Phoradendrom califor-nicum	Toji	Cauce
Vitaceae	Vitis arizonica	Uva silvestre	Cauce
Zygophyllaceae	Guayacum coulteri	Guayacán	Costera

*Trans. = transición

Cada una de las zonas presenta diferentes condiciones ambientales debido al gradiente altitudinal, a la influencia de la costa y a las perturbaciones antropogénicas, por ello

varía el número de taxones que las representan. La figura 4 muestra gráficamente los taxones presentes en cada zona a lo largo de la Cuenca Baja del Río Mayo, mostrando que la zona más rica es la zona de cauce con bosque de galería y matorral espinoso, mientras que la zona que presenta menor número de familias, géneros y especies es la zona de transición.

Pese a su abundancia en la zona, *Populus fremontii* se ve severamente amenazada por la llegada de especies invasoras tolerantes a condiciones de perturbación y de salinidad que invaden los márgenes de ríos y arroyos aclareados para el cultivo. En el 2005 la degradación del ecosistema ribereño en la cuenca del Río Mayo, representaba un 97.6% de pérdida en su cobertura vegetal, y la mayor afectación se localiza en la zona de cauce. Esta pérdida de vegetación corresponde a todos los tipos de cambio de uso de suelo por ganadería y agricultura (13). De acuerdo a las observaciones de este trabajo, se coincide con este planteamiento ya que el bosque de galería está muy dañado y severamente afectado en los sitios de muestreo de San Ignacio y Jitonhueca, ubicados en los municipios de Navojoa y Etchojoa, respectivamente.

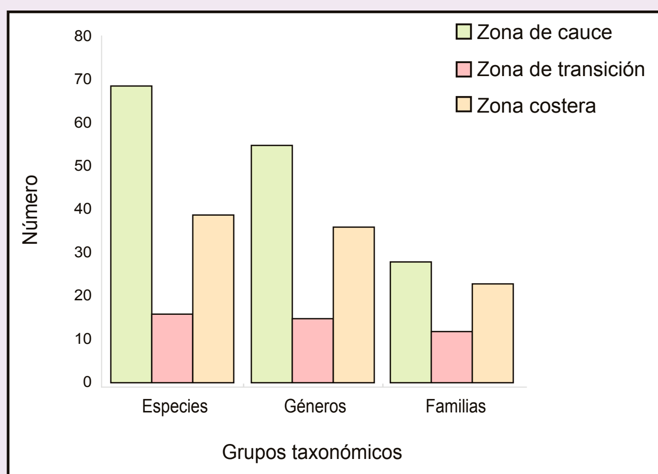


Figura 4. Taxones presentes por zona en la Cuenca Baja del Río Mayo.

La asociación vegetal más importante del sur de Sonora correspondía al hábitat de planicie costera, donde los elementos que sobresalían fisionómicamente eran los cactus columnares como *Lemairocereus thurberi* (pitahaya) y *Pachycereus pecten-aboriginum* (etcho). La cobertura estaba descrita como un poco irregular, con manchones de vegetación muy densa y clara, a veces amplios (6). Cabe señalar que las especies mencionadas están presentes en el listado florístico, pero no tienen una amplia distribución ya que están muy aisladas y casi desaparecidas de la cuenca.

En la zona costera la especie más representativa de esta asociación fue el mangle dulce (*Maytenus phyllantoides*), que formaba comunidades puras o asociaciones con el chamizo (*Atriplex canescens*) en partes donde las altas concentraciones de sal no permitían el crecimiento de ninguna otra especie. El área de distribución del mangle dulce parecía extenderse más allá de las zonas altamente salinas, incluyendo el bosque espinoso, tanto en la periferia como en zonas perturbadas (6). Actualmente, se puede observar que la especie aún está presente interaccionando con el chamizo pero con poca abundancia y restringida a la zona costera.

En cuanto al bosque de galería compuesto por *Populus fremontii* y *Salix bonplandiana,* aún se encuentran en la cuenca pero de manera irregular y fragmentada, restringidos a los sitios de agua permanente. Hay sitios donde están siendo remplazadas por otras especies como *Prosopis juliflora, Acacia farnesiana, A. cymbispina* y *Mimosa asperata,* las cuales son indicadoras de perturbación. De acuerdo con lo anterior, se señala que el bosque espinoso es una comunidad de vegetación secundaria que ocupa el lugar que dejan especies del bosque de galería (3).

En la primera mitad del siglo XX las principales especies predominantes en las riberas del Río Yaqui y Mayo, eran: *Vallesia glabra* (Citavaro), *Guazuma ulmifolia* (Guásima), *Baccharis glutinosa* (batamote), *Salix sp.* (Sauce) *Populus fremontii* (álamo) y *Lycium sp.* (6). Cabe mencionar que aún y cuando están presentes, no se les puede considerar como indicadoras o representativas de estos ecosistemas.

La vegetación del área de estudio está constituida en su mayor parte por el bosque espinoso, por matorrales xerófilos y el bosque tropical caducifolio (14). En la actualidad aún están presentes los 3 tipos de vegetación, pero el más extendido es el bosque espinoso, ya que éste ocupa el lugar que dejan otras especies por la falta de agua (1). Según las observaciones de campo se identificó la presencia de matorral arbocrasicaulescente entre los sitios de Tesia y Etchoropo inclusive, pero ha sido paulatinamente eliminado para fines agrícolas y ganaderos.

En el cauce del Río Mayo se han encontrado daños al bosque de galería ocasionados por la tala de árboles para el tendido eléctrico afectando la riqueza de especies del área. La deforestación (desmontes para fines de cultivo y ganadero), el aprovechamiento de ciertas especies principalmente mezquite (*Prosopis juliflora)* para usos de leña, carbón y postería, han modificado la densidad de la cobertura vegetal y la composición de la flora, devastando el hábitat de las especies faunísticas (4).

La cobertura del mangle se ha reducido más del 50 por ciento. Se atribuye su pérdida a la extensión de granjas acuícolas y a la falta de estudios específicos que indiquen el estado de las poblaciones naturales de mangle (16). Los datos de la zona costera que se observaron en este trabajo nos indican que las especies de mangle están muy dañadas por las actividades de pesquería y acuícolas.

CAUSAS QUE AFECTAN LA DIVERSIDAD

El principal factor que afecta negativamente la biodiversidad de una zona es la alteración de los hábitats. La acción humana afecta directamente las condiciones

ambientales y modifica los hábitats; el desarrollo de ciertas prácticas como el monocultivo y la sobreexplotación de los recursos naturales afectan la diversidad exponiendo a las poblaciones al factor selectivo del medio natural. La pérdida de especies en el área de estudio se debe principalmente al cambio de uso de suelo. Por otra parte, se observó que algunos de los sistemas de drenaje de aguas residuales de los municipios de Navojoa y Etchojoa son vertidos al río. De igual manera, los poblados cercanos también arrojan desperdicios al cauce y esto afecta negativamente la flora del ecosistema. Otra cuestión importante es que se ha invadido su entorno para construir casas, corrales, parques de recreación, calles, entre otros. Un factor que resulta muy importante resaltar, es que en la zona costera aún están presentes las especies de mangle, *Rizophora mangle, Conocarpus erectus, Laguncularia racemosa y Avicennia germinans,* siendo esta área privilegiada en el estado de Sonora por contar con las 4 especies (10).

CONCLUSIONES

La Cuenca Baja del Río Mayo es rica en diversidad de especies vegetales a pesar de las condiciones de perturbación del área de estudio. La agricultura, acuicultura ganadería, minería y el desarrollo urbano afectan gravemente la riqueza florística de la cuenca.

La diversidad de especies varía de acuerdo al gradiente altitudinal. El número de especies tiene relación directa con la cantidad de géneros y familias en cada una de las zonas estudiadas.

Se recomienda impulsar programas de conservación y protección de la diversidad vegetal de la Cuenca Baja del Río Mayo.

Los listados florísticos muestran información muy confiable para conocer el estado actual de los recursos. Su importancia radica en poner a disposición de todos, el conocimiento de la flora de una región determinada.

La realización de estudios de este tipo y su corroboración con otros métodos acercarían más al conocimiento completo en la Cuenca Baja del Río Mayo.

BIBLIOGRAFÍA

1) Cervantes, M. (1994). Guía Regional para el Conocimiento, Manejo y Utilización de los Humedales del Noroeste de México. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Guaymas, Guaymas, Sonora. Pp. 21-45.
2) C.N.A. (1994). Informe sobre Avances del Programa de Saneamiento Básico Rural en el Distrito de Riego No. 038, Río Mayo, Sonora. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Estatal Sonora. Hermosillo, México. Mimeo. 28 p.
3) De la Vara, A. (1982). Sonora. Metropolitana de Ediciones. México. Pp. 29-30.
4) Duarte, R.J. (1997). Impacto Ambiental de las Actividades Humanas en la Cuenca Baja del Río Mayo. Universidad de Sonora. Navojoa, Mex. Pp. 73-74.
5) Franco, J. de la C., Cruz, A., Rocha, A. (1992). Manual de Ecología. Ed. Trillas, México.
6) Gentry, H. S. (1942). Río Mayo Plants. A Study of the Río Mayo, Sonora.1era ed. Carnegie Institution of Washington publication 527. Washington, D.C. Pp. 30-32.
7) I.N.E.G.I. (2007). Mapa de Agricultura y Vegetación. Sonora, México.
8) Magaña, P. y Villaseñor, J.L. (2002). La flora de México. En Ciencias, Núm. 66. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 145-163.
9) Martin, P. S., Van Devender, T.R., Yetman, D.A., Fishbein, M.E. and Jenkins, P.D. (1998). Gentry's Rio Mayo Plants. The Tropical Deciduous Forest and Environs of Northwest Mexico. University of Arizona Press, Tucson, Az. 558 p.
10) Meling, A. (2007). Manual para la operación de viveros de halófitas y mangles. Universidad de Sonora. DICTUS. Hermosillo, México. 89 p.
11) Murray, M.G. (2006). Laboratorio de Plantas Vasculares. Área de botánica. Departamento de biología vegetal y ecología. Facultad de Ciencias de la Universidad A Coruña. Galicia. España.134 p.
12) Pérez, B.G. (1996). Historia General de Sonora. Tomo I. Hermosillo, México. Pp.116-127.
13) Quiñones, M.A. y González, R. (2005). Degradación Vegetal en el Ecosistema Ribereño del Valle Aluvial del Río Yaqui, Sonora y su Relación con el Manejo de los Recursos Hidráulicos. ITSON. Cd Obregón, México. 112 p.
14) Rzedowski, J. (1981). Vegetación de México. Primera reimpresión. Editorial Limusa. México. Pp. 9-20.
15) Van Devender, T.R., Felger, R.S., Fishbein, M., Molina-Freaner, F.E., Sánchez-Escalante, J. y Reina-Guerrero, A.L. (2010). En Diversidad Biológica de Sonora. Edit. Molina Freaner, F.E. y Van Devender, T.R. UNAM-CONABIO, México, D.F. Pp. 229-263.
16) Wong, G. P. (1997). Propuesta Técnica del Programa de Desarrollo Rural Sustentable del Sur de Sonora, México, CIAD/SEMARNAP/IMADES/CRUNO-UACH. 256 p.
17) www.cosaes.com
18) www.inegi.gob.mx
19) www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf





INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DE ENFERMEDADES PARASITARIAS EN POBLACIÓN INFANTIL DE PRIMER A CUARTO GRADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA EN UN EJIDO DEL SUR DE SONORA

GABRIELA DE LOS ÁNGELES DÍAZ REYES*, XIMENA FELIPE ORTEGA FONSECA, MARIO CÉSAR VELDERRAIN DÍAZ, DULCE MARÍA URÍAS ESTRELLA, ELENA ROMÁN MENDÍVIL

RESUMEN

La parasitosis intestinal constituye un problema de salud pública en México, siendo la población infantil la más afectada (9). En el estado de Sonora, se han realizado estudios que ubican la prevalencia de infecciones por microorganismos como *Giardia lamblia*, *Endolimax nana* y *Entamoeba coli* en 20, 10 y 19% respectivamente, con una situación de poliparasitismo en 18% de los casos (6). El hacinamiento, la escasez del agua potable y la carencia de drenaje, constituyen los mayores factores de riesgo para contraer este tipo de enfermedad (1). Como parte de un proyecto de Servicio Social de la Carrera de Químico Biólogo de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Sur, se realizó un muestreo coproparasitoscópico en 52 niños de entre Primer y Cuarto grado de educación Primaria, en una población ejidal del sur del estado, con el fin de detectar casos positivos y canalizarlos para su atención. Se registraron 40 casos positivos para parasitosis, representando un 76.9% de la muestra, los principales microorganismos detectados durante el estudio fueron *G. lamblia*, *E. histolityca*, *E. coli* y *E. nana*, encontrándolos de manera aislada o en algunas muestras en asociaciones multiparasitarias.

Palabras clave: Poliparasitismo, parasitosis en Sonora, giardiasis, amebiasis.

ABSTRACT

Intestinal infection by parasites, represents a public health problem in Mexico, being kids in early ages the ones at greater risk (9). The state of Sonora, has a study that place the prevalence of microorganisms such as G. lamblia, E. nana and E. coli in 20, 10 and 19% respectively, presenting infection by several parasites in 18% of the cases (6). Living in overcrowded conditions, the lack of drinkable water and drain systems provide the greatest risk factors for this kind of diseases (1). As part of a social service project from the University of Sonora, a study was made to analyze fecal samples of 52 children, from first to fourth grade in elementary education, belonging to a rural community in the south region of the state of Sonora. The study detected 40 positives cases for the presence of some species of parasite, representing 76.9% of the total sample. The mainly detected microbes were G. lamblia, E. histolytica, E. coli and E. nana, being found separately and in association with two or more parasites.

Keywords: *Parasites, south of Sonora, incidence of intestinal parasite infection, giardiasis, amebiasis.*

M.C. GABRIELA DE LOS ÁNGELES DÍAZ REYES
Unidad Regional Sur, Universidad de Sonora
Correo: gabydiaz@navojoa.uson.mx
M.C. XIMENA FELIPE ORTEGA FONSECA
Unidad Regional Sur, Universidad de Sonora
Correo: ximena@navojoa.uson.mx
MÉDICO GENERAL MARIO CÉSAR VELDERRAIN DÍAZ
Departamento de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad de Sonora
Correo: mariodiazmd@gmail.com
MÉDICO PEDIATRA DULCE MARÍA URÍAS ESTRELLA
Hospital Infantil del Estado de Sonora
Correo: urias.dulce@gmail.com
P.Q.B.C. ELENA ROMÁN MENDÍVIL
Pas. Químico Biólogo Clínico, Universidad de Sonora
Correo: helenithaa_18@hotmail.com

*Autor para correspondencia: Gabriela de los Ángeles Díaz Reyes
Correo electrónico: gabydiaz@navojoa.uson.mx
Recibido: 12 de marzo de 2013
Aceptado: 07 de abril de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

Las parasitosis intestinales se reportan como una causa importante de morbilidad infantil y representan un problema de salud pública, principalmente en los países en vías de desarrollo. El ciclo de contagio de los agentes parasitarios requiere que el microorganismo se introduzca en el huésped, ya sea por vía transdérmica, o a través del tubo digestivo, por la ingestión de alimentos contaminados o por contacto con vectores (1). La propagación de las enfermedades parasitarias es perpetuada por el ciclo intergeneracional de la pobreza, la ignorancia, condiciones higiénicas deficientes, la falta de servicios básicos y el limitado acceso a los servicios de salud (2).



La sintomatología reportada en bibliografía, varía según el parásito identificado, sin embargo la presencia de infección podría manifestarse con cuadros digestivos recurrentes, con la presencia o no de sangre en las evacuaciones, pujo, tenesmo, fiebre y en patologías con afectación extraluminal los datos clínicos dependerán del órgano afectado (pulmón, hígado, sistema nervioso central, piel, etcétera (3).

En Latinoamérica, la pobreza y las deficientes condiciones higiénicas resultantes, se asocian a mayor riesgo de infección por helmintos y protozoarios, que repercuten en el estado nutricional del individuo afectado, ya que pueden afectar la absorción de nutrientes en el lumen intestinal, por lo que muchas parasitosis permanecen asintomáticas (4). En México, la prevalencia de parasitosis intestinales en escolares asintomáticos se reporta en 31.2% en el altiplano mexicano (5); 67% en la frontera sur y en la región noroeste del 35%.(4). Debido a la amplia variedad geográfica y cultural de nuestro país, es difícil transpolar estadísticas de una región a otra, lo cual, le da un alto grado de importancia a la investigación regional, sobre todo en materia de salud.

Un estudio realizado en poblaciones infantiles del centro y norte del Estado de Sonora, reporta una incidencia de parasitosis por *Giardia lamblia, Endolimax nana* y *Entamoeba coli* en un 20, 10 y 19% respectivamente, con situaciones de poliparasitismo en 18% de los casos (6). En la actualidad, no existen datos epidemiológicos serios que informen sobre la incidencia o prevalencia de las parasitosis intestinales en la población infantil del sur de Sonora, las cuales, son necesarias para diseñar y planificar estrategias de prevención y control aplicables en estas comunidades. Es por este motivo, que la Universidad de Sonora, a través de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Regional Sur, inicia un estudio de investigación sobre este tema.

OBJETIVO GENERAL

El estudio tiene como objetivo la observación del comportamiento de las enfermedades parasitarias en la población escolar de una comunidad rural del sur de Sonora.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la incidencia de parasitosis en alumnos de primero a cuarto año de educación primaria de la escuela estudiada.

Referir los casos positivos a parasitosis al primer nivel de atención médica para la intervención correspondiente.

Establecer estrategias de prevención de las enfermedades parasitarias y promoción de la salud.

METODOLOGÍA

Se realiza un estudio descriptivo, transversal; ya que analiza la relación entre la situación socioeconómica, cultural y sanitaria de una población definida, con la presencia de una enfermedad determinada.

Se elige a la escuela primaria de una comunidad ubicada en Longitud W 27º 18′ 05′′, Latitud N -109º 48′. Se trata de una población ejidal en el sur del estado de Sonora elegida en base a un antecedente de muestras positivas en una recolección aleatoria no estandarizada para una práctica de laboratorio; de igual forma, la comunidad cumple con las características de las poblaciones de riesgo para parasitosis ya que en su mayoría está conformada por personas de bajo nivel socioeconómico, con baja cultura higiénica y con poco acceso a servicios públicos. La escuela primaria, cuenta con un total de 160 alumnos inscritos, los cuales se distribuyen en grupos de Primer a Sexto grado. Inicialmente se contempló la posibilidad de incluir en el estudio a toda la población estudiantil, pero debido a mala respuesta por parte de los alumnos de los últimos grados se decidió realizar el estudio con los alumnos de primer a cuarto grado, comprendiendo las edades de 6 a 10 años.

Los aspectos éticos y técnicos del proyecto fueron discutidos con las autoridades escolares y con una asamblea de padres de familia, mismos que otorgan un consentimiento verbal para la participación en el estudio.

La investigación tuvo una duración de aproximadamente 6 semanas en las que se recolectan 52 muestras, que fueron estudiadas en los laboratorios de la Universidad de Sonora, Unidad Regional Sur, en un lapso no mayor a 24 horas después de su recolección. El proceso de identificación de parásitos se realizó utilizando la técnica de observación directa con lugol y posteriormente verificando con observación en método de FAUST (7).

Los resultados fueron registrados en una base de datos de Excel, para su posterior análisis

RESULTADOS

Del total de muestras (n=52) se obtuvieron 40 resultados positivos (76.9%) a la presencia de algún tipo de parásito. Del total de muestras positivas, 28 reportaron presencia de dos o más especies de parásitos (70%). La figura 1 muestra la cantidad de muestras positivas por parásito.



Figura 1. Parásitos detectados en muestras positivas.



Las mayores incidencias reportadas en el estudio corresponden a cepas de *E. histolytica* y *G. lamblia* con 23 resultados positivos para cada una (n=57.5%), siguiendo en frecuencia la infección por *E. coli* con 12 resultados positivos.

DISCUSIÓN

Las enfermedades parasitarias tienen un gran impacto sobre la salud de los individuos de poblaciones rurales ya que son capaces de causar sintomatología variada que va desde evacuaciones diarreicas, dolor abdominal, fiebre, estreñimiento, sangrado en heces, pérdida de peso y retraso en el crecimiento (6). El estudio revela una incidencia de infección por *G. lamblia* (n=23, 57.5%) similar al obtenido por un grupo de investigadores del CIAD (8) (n=49, 43%) en el centro y norte del estado.

CONCLUSIONES

En base a la información obtenida en este estudio, podemos determinar que la parasitosis es una entidad patológica presente en un importante porcentaje de la población infantil del sur del Estado de Sonora; fue posible alcanzar los objetivos del proyecto, pudiendo estimar la incidencia de parasitosis según las principales especies presentes en los resultados positivos, mismos que fueron referidos al primer nivel de atención en la comunidad para su tratamiento. Como parte del proyecto, se establecieron recomendaciones higiénicas como un correcto lavado de manos, preparación higiénica de alimentos y formas de transmisión de parásitos; sin embargo, es importante continuar la investigación en este campo, ya que, para poder establecer otras estrategias de impacto, es necesario comparar la incidencia y prevalencia de la enfermedad en distintas comunidades, así como en diferentes estratos socioeconómicos.

BIBLIOGRAFÍA

1) Sánchez, V.J., Tay-Zavaka, J., Robert, G.L., Romero, C.L., Ruiz, S.D., Rivas, G.C. (2000). *Frecuencia de parasitosis intestinales en asentamientos humanos irregulares.* Rev. Fac. Med. UNAM. 43(3):80-3.
2) Botero, D., Restrepo, M. (2004). *Conceptos generales sobre parasitología*. En: D. Botero, M. Restrepo (Eds.). Parasitosis Humanas. Tercera Edición. Corporación para Investigaciones Biológicas. Medellín, Colombia. Pp.12-16.
3) Medina-Claros, A. (2011). *Parásitos intestinales. Protocolos diagnósticos y terapéuticos de la Sociedad Española de Pediatría*. 3era. Edición.
4) Solano, L., Acuña, I., Barón, M., Moron-de-Salim, A., Sánchez, A. (2008). *Influencia de las parasitosis intestinales y otros antecedentes infecciosos sobre el estado nutricional antropométrico de niños en situación de pobreza*. Parasitol Latinoam 63: 12 – 19.
5) Sánchez de la Barquera-Ramos, M.A. y Miramontes-Zapata, M. (2011). *Parasitosis intestinales en 14 comunidades rurales del altiplano de México*. Rev. Mex. Patol. Clin.; 58:16–25.
6) Quihui-Cota, L., Morales-Figueroa, G. (2012). *Parasitosis intestinales en escolares tratados con albendazol en el noroeste de México: Estudio piloto.* Bio. Rev. Tec. UNISON. Vol. XIV, Núm. 2.
7) Olivas, E. (s.f.). Manual de Prácticas de Microbiología I y II y Parasitología. Capítulo 9, Pág. 101. UACJ. ISBN 9687845279 y 9789687845272.
8) Quihui, L., Morales, G., Méndez, R., Leyva, J., Esparza, J., Valencia, M. (2010). *Could giardiasis be a risk factor for low zinc status in schoolchildren from northwestern Mexico? A cross-sectional study with longitudinal follow-up BMC Public Health.* Feb 20; 10(1):85. doi: 10.1186/1471-2458-10-85. Department of Public Nutrition and Health, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C., Hermosillo, Sonora, México.
9) Brown, k. H., Gilman, R. H., Khatun, M. y Ahmed, G. (1980). Absorption of macronutrients from a rice-vegetable diet before and after treatment of ascariasis in children. Am. J. Clin. Nutr. 33: 1975-82.



SIMULACIÓN Y MODELACIÓN DE PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN DEL CÁLCULO DIFERENCIAL CON LA HOJA DE CÁLCULO

JOSÉ LUIS DÍAZ GÓMEZ*

Con frecuencia se sobrestima el impacto de las nuevas tecnologías en el sistema educativo, pero es indudable que proporcionan un gran potencial para el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas. En el artículo se ilustra el uso de la hoja de cálculo como herramienta pedagógica en las clases de cálculo diferencial, en particular en la enseñanza de los problemas de optimización.

DR. JOSÉ LUIS DÍAZ GÓMEZ
Departamento de Matemáticas, Universidad de Sonora
Correo: jdiaz@gauss.mat.uson.mx

*Autor para correspondencia: José Luis Díaz Gómez
Correo electrónico: jdiaz@gauss.mat.uson.mx
Recibido: 25 de marzo de 2014
Aceptado: 26 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han desarrollado e integrado los elementos visuales como parte esencial para representar y comunicar información. Las gráficas, los signos y objetos pictóricos, así como las imágenes impresas o computadorizadas están presentes en todas las áreas de la sociedad actual. Arcavi (1) describe la visualización en términos muy generales: *"La visualización es la capacidad, el proceso y el producto de la creación, interpretación, uso y reflexión sobre retratos, imágenes, diagramas, en nuestras mentes, en el papel o con herramientas tecnológicas, con el propósito de representar y comunicar información, pensar y desarrollar ideas previamente desconocidas y comprensiones avanzadas"*.

En el caso del aprendizaje de las matemáticas, lo visual juega un papel importante para evaluar los procesos y capacidades de los sujetos al realizar ciertas tareas que requieren "ver" o "imaginar" mentalmente los objetos matemáticos (2). Zimmermann y Cunningham (3) definen a la visualización matemática como: *el proceso de producir o usar representaciones geométricas y gráficas de conceptos o principios o problemas matemáticos, ya sean hechas a mano o generadas por computadoras*.

Con el paso de los años la computadora se ha integrado a la visualización y actualmente constituye una herramienta fundamental en ella. Esta capacidad de visualización de gran alcance de la computadora no tiene precedentes y no puede compararse con los medios de enseñanza tradicionales. Ahora, conceptos abstractos que han demostrado ser difíciles de explicar para los profesores o de entender para los estudiantes, utilizando métodos de enseñanza tradicionales, ahora pueden ser modelados y comprendidos utilizando la animación y la capacidad de visualización gráfica que ofrecen las computadoras.

En línea con esta evolución, se ha desarrollado software especializado para graficación y otros que entre sus capacidades tienen la graficación. La hoja de cálculo es uno de estos últimos. Como resultado, muchas personas no son conscientes de que se puede utilizar este software para dibujar gráficas muy complejas. En este artículo, vamos a mostrar cómo la hoja de cálculo se puede utilizar para dibujar diferentes tipos de gráficas, así como hacer uso de simulaciones para resolver problemas de optimización.

Si uno observa los libros de texto para el curso de Cálculo Diferencial, se encuentra que la mayoría presenta la siguiente secuencia: Números reales, funciones, límites, continuidad y derivación; de manera que cuando han sido tratados estos elementos básicos, encontramos como aplicaciones del cálculo diferencial, el estudio de las gráficas de las funciones y, a continuación, la resolución de problemas de optimización utilizando principalmente el concepto de derivada de una función (4, 5, 6). Con la hoja de cálculo es posible resolver los problemas de optimización al inicio de los cursos de cálculo.

Abordamos aquí el estudio y resolución de los problemas de optimización utilizando la hoja de cálculo; conjugaremos diferentes sistemas de representación (numérico, gráfico y algebraico) que servirán para enriquecer el planteamiento y para la resolución de los problemas.

EL PROBLEMA

Los artículos y reportes de investigación relacionados con la enseñanza y el aprendizaje del Cálculo nos muestran las dificultades que presentan los estudiantes en la solución de los problemas de optimización de este curso, así como traducir del lenguaje cotidiano al lenguaje algebraico para dar una solución a este tipo de problemas (7, 8, 9,10).



También se reporta que en gran parte de los cursos de Cálculo se enseñan estos problemas de manera tradicional: el profesor explica los contenidos desarrollando algoritmos, formas y estrategias de solución. El alumno, como un simple espectador y receptor de la temática expuesta, intenta repetir los pasos, algoritmos y formas de solución que le fueron expuestas, en consecuencia es un simple repetidor de formas y estrategias. Incluso también se reporta que uno de los problemas más graves que confronta la enseñanza de las matemáticas es la fuerte carga operativa en deterioro de la parte conceptual (8, 11, 12, 13). Conviene señalar que la enseñanza de los problemas de optimización no está fuera de esta problemática.

LA HOJA DE CÁLCULO

Aunque originalmente fue desarrollada para el mundo de los negocios, las hojas de cálculo se siguen utilizando para los propósitos de la educación matemática. Si bien esto puede explicarse en parte debido a la amplia disponibilidad de las computadoras personales en las escuelas, los hogares y las empresas, es también una consecuencia de sus capacidades que incluyen a ciertos tipos de trabajo matemático.



En particular, la hoja de cálculo se ha convertido en una poderosa herramienta de trabajo en el campo educativo debido a que sus funciones principales permiten estructurar y representar modelos de la forma más diversa. Por otro lado, aunque no es tan versátil como otros graficadores, la representación gráfica de los datos numéricos permite hacer representaciones bastante buenas de todo tipo de funciones que se estudian, desde la secundaria hasta la universidad.

Se ha elegido la hoja de cálculo para la enseñanza del cálculo diferencial, por el conocimiento básico que los alumnos y profesores tienen de él y por la flexibilidad de ser utilizado en otras áreas de la especialidad. La hoja de cálculo es una herramienta interesante de considerar en el proceso de enseñanza y el aprendizaje de la matemática. El uso de este recurso contribuye a que los estudiantes aumenten sus experiencias en matemática y adquieran una nueva perspectiva dinámica sobre el uso y sobre las potencialidades analíticas del programa (14).

SISTEMAS DE REPRESENTACIÓN

Para potenciar la construcción de los conceptos relativos al análisis matemático Artigue (15) sugiere buscar un mejor equilibrio entre las diferentes representaciones de los mismos: la representación geométrica, la numérica, la algebraica y la verbal. Asimismo Werle y Vertuan, (16) señalan que un modelo matemático puede ser escrito usando diferentes sistemas semióticos. Una ecuación, una tabla, una gráfica, son ejemplos de sistemas semióticos que pueden ser usados para representar modelos matemáticos.

Por otra parte Duval (17) indica que construir el significado de los objetos matemáticos implica la capacidad de transformación de las representaciones, que admite dos formas, la *conversión* y el *tratamiento*. Si la transformación se realiza al interior de un mismo registro semiótico, se denomina transformación de tratamiento; por ejemplo, la realización de un cálculo algebraico, como $(n + 1)(n + 1) = (n + 1)^2$ representa una transformación en el registro algebraico. Si la transformación se realiza entre dos registros semióticos diferentes, se denomina transformación de conversión; por ejemplo, transformar una relación descrita en lenguaje natural, como "*n es un número negativo*", en una relación expresada en lenguaje algebraico, como "$n < 0$".

Algunos autores proponen el uso de las tecnologías como instrumentos de mediación semiótica para introducir conceptos y relaciones matemáticas, gracias a su potencialidad para presentar simultáneamente varias representaciones de un mismo concepto y para favorecer la interacción y el dinamismo (18, 19).

En este artículo se propone la hoja de cálculo para mostrar al estudiante propiedades y comportamientos de los objetos matemáticos que en un pizarrón o con lápiz y papel no son posibles de ver. Además, desde el punto de vista de Duval, la hoja de cálculo facilita el proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes, debido a que posee tres registros de representación (algebraico, gráfico y tabular). Lo cual implica que el estudiante está en constante contacto con dichos registros, permitiéndole conocer y manipular saltando de un registro a otro, proporcionándole así mismo un aprendizaje significativo.

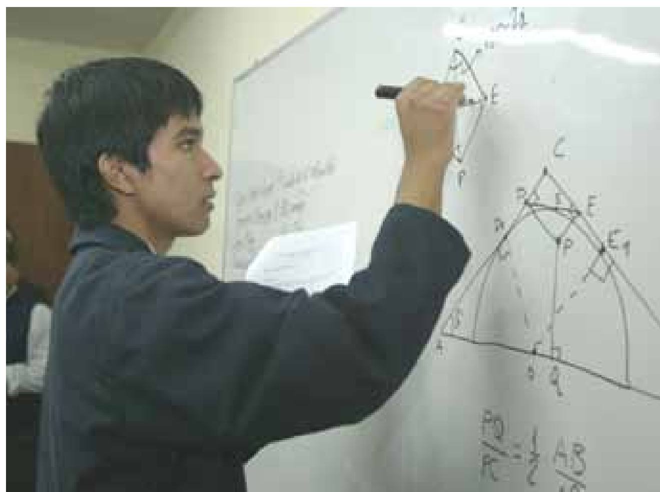
Uno de los problemas con el que nos encontramos frecuentemente en la enseñanza de los problemas de optimización es, precisamente, la multiplicidad de los sistemas de representación usados en diferentes contextos, así como las relaciones entre las diferentes formas de representar una misma idea. Por tanto el

propósito, para mejorar la enseñanza consiste en que los alumnos sean capaces de desarrollar la habilidad de elegir la representación más adecuada, pasar de una a otra y que reconozcan la importancia o valor de ver un cierto problema desde diferentes puntos de vista. De aquí que el uso adecuado de actividades de simulación y modelación diseñadas en la hoja de cálculo permite generar destreza en el planteamiento de los problemas, lograr que los alumnos se familiaricen con los procesos abstractos y desarrollen la habilidad de cambiar entre los distintos sistemas de representación.

EJEMPLOS DE PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

Para ilustrar el uso de la hoja de cálculo se diseñaran algunas actividades didácticas que modelan problemas de optimización utilizando los sistemas de representación con el propósito de proporcionar una manera de obtener resultados de forma "experimental", con lo cual se aspira a convertir el salón de clase en un pequeño laboratorio, donde se "reconstruyen" las condiciones de los problemas planteados y se generan modelos que a su vez ayuden a encontrar la solución correspondiente.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los problemas que se han diseñado, sin profundizar en el trabajo que se realiza en el aula; pues se trata de mostrar solo el uso de la hoja de cálculo en el diseño de actividades.



Ejemplo 1

Esta actividad está diseñada para explorar varios enfoques que resuelven el problema de maximizar el área de un rectángulo con perímetro fijo en el contexto del "gallinero de un granjero". Se trata de exponer un procedimiento para modelar el problema en varios registros de representación utilizando la hoja de cálculo.

Problema del gallinero

Un granjero desea construir un gallinero rectangular para la crianza de gallinas. Tiene 40 metros de malla para gallinero y desea utilizar todo el material disponible. ¿Cuáles deben de ser las dimensiones del gallinero de mayor área posible que se puede construir?

Representación geométrica

Primero se trabaja sobre la simulación geométrica de las posibles formas de construir el gallinero con las condiciones dadas en el problema. Se trata de dibujar un rectángulo en el cual se muestra que cambian sus dimensiones, lado1, lado 2, y el área correspondientes cuando se presiona sobre un objeto de control de número (Figura 1).

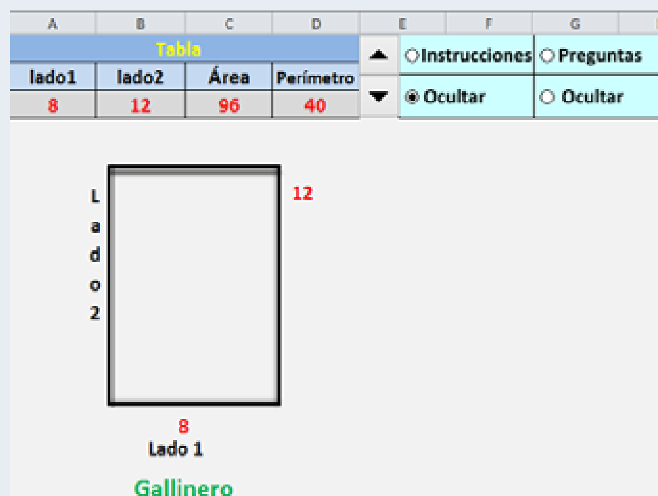
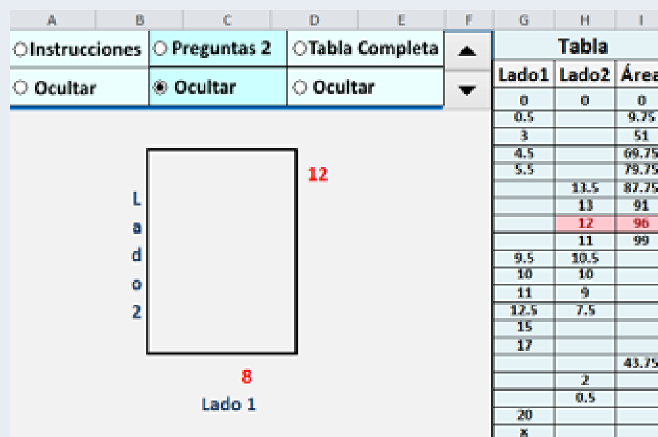


Figura 1. En el rectángulo cambian las medidas de los lados.

Representación numérica

Cuando se hace clic sobre el control de número se simula la construcción del gallinero con diferentes medidas, cambian los datos de la tabla y el estudiante debe de completar las celdas vacías (Figura 2). Algunas de las medidas del rectángulo no se muestran en la tabla.



Tabla

Lado1	Lado2	Área
0	0	0
0.5		9.75
3		51
4.5		69.75
5.5		79.75
	13.5	87.75
	13	91
	12	96
	11	99
9.5	10.5	
10	10	
11	9	
12.5	7.5	
15		
17		
		43.75
	2	
	0.5	
20		
x		

Figura 2. El estudiante debe de llenar las celdas vacías.

Representación gráfica

Cuando se hace clic sobre el control de número se simula la construcción del gallinero con diferentes medidas, cambian los datos de la tabla y se construye la gráfica (Figura 3). En el botón *ver pregunta 3*, que se muestra en la figura 3, se hacen preguntas como: ¿Podrías dar el dominio y el rango de la gráfica?

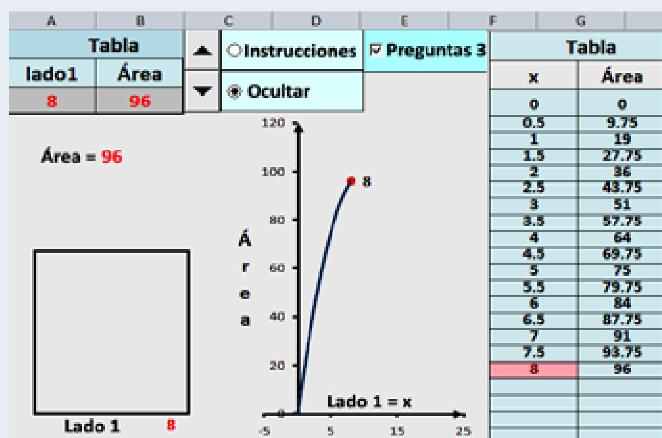


Figura 3. Los datos del rectángulo, la gráfica y la tabla cambian al mismo tiempo.

Ejemplo 2

Problema del cilindro circular

Encuentre las dimensiones del cilindro circular recto de máximo volumen que se puede inscribir en un cono circular recto de altura 12 m y radio de la base de 3 m.

Representación geométrica

Cuando se hace clic sobre el control de número se simula el movimiento del cilindro al interior del cono y todos los valores cambian (Figura 4).

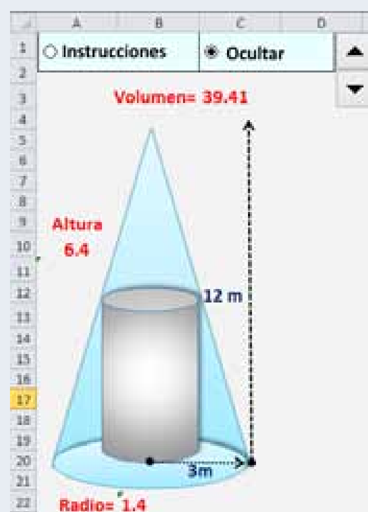


Figura 4. La altura y el radio del cilindro cambian al interior del cono.

Representación numérica

Cuando se hace clic sobre el control de número se simula el movimiento del cilindro al interior del cono, cambian los datos del cilindro y los de la tabla (Figura 5).

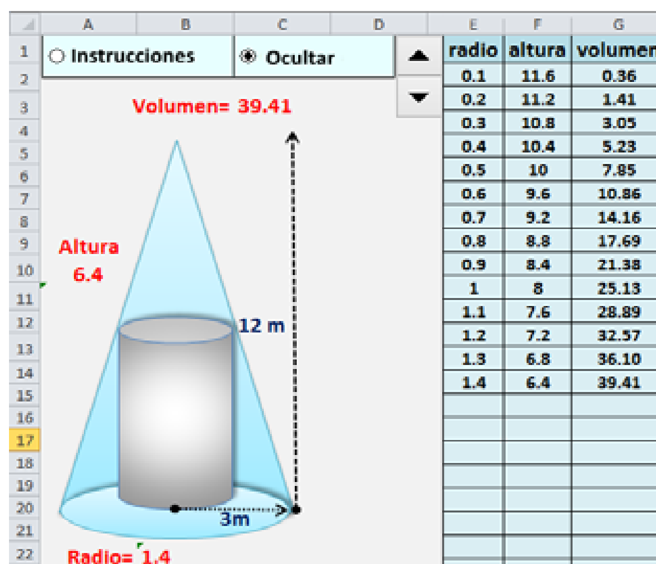
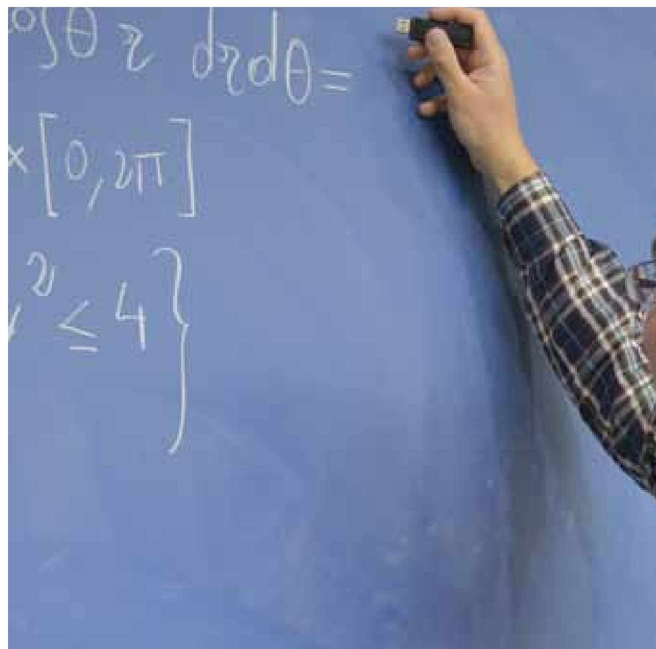


Figura 5. Representación gráfica y numérica.

Representación gráfica

Cuando se hace clic sobre el control de número se simula el movimiento del cilindro al interior del cono, cambian los valores numéricos, cambian los datos de la tabla y se observa un movimiento en la gráfica (Figura 6).



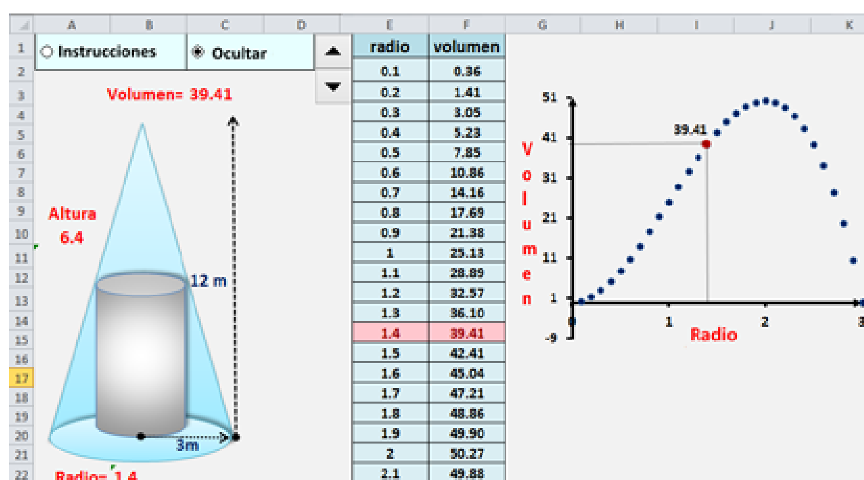


Figura 6. Se muestran las tres representaciones en una sola hoja de cálculo.

Ejemplo 3

Determinar los cuadrados de las esquinas que se deben de cortar, de una lámina cuadrada de 13 cm de lado para construir una caja de base cuadrada, sin tapa que tenga volumen máximo.

En esta hoja de cálculo se simula la construcción de la caja y se presentan las tres representaciones la geométrica, la numérica y la gráfica. (Figura 7).

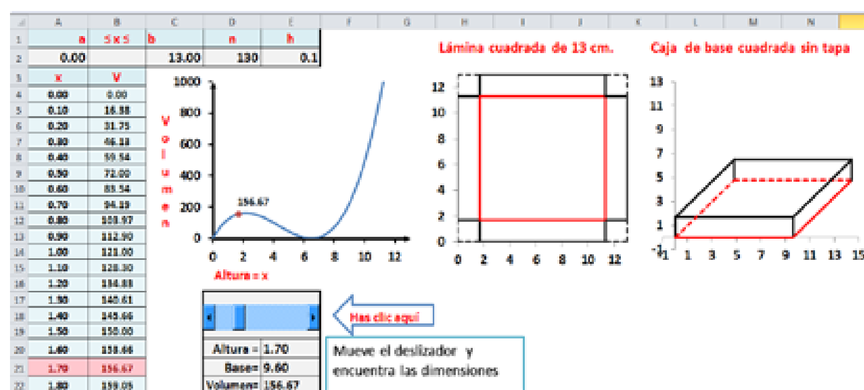


Figura 7. Representaciones del problema de la caja sin tapa.

CONCLUSIONES

En el artículo mostramos las ventajas de la Hoja de Cálculo para representar los problemas de optimización del cálculo diferencial, aquí debemos de hacer notar que la sola manipulación de las representaciones y de las hojas de cálculo por más bonitas o dinámicas que se vean no son suficientes para desarrollar la comprensión de este tema en los estudiantes. Se requiere utilizar estas representaciones junto a una estrategia didáctica de enseñanza para facilitar un procesamiento más profundo del tema. Estrategias que estimulen a los estudiantes a observar, analizar, opinar, formular hipótesis, buscar soluciones, construir y descubrir el conocimiento por sí mismos.



Las hojas de cálculo han adquirido un lugar en el repertorio de las tecnologías de importancia para el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas en los treinta años desde su invención. Parte de su importancia radica en su disponibilidad generalizada dentro y fuera de los entornos escolares. En este artículo hemos demostrado que las características esenciales de las hojas de cálculo son invaluables para construir los objetos que permiten que los estudiantes exploren algunos aspectos de las matemáticas. La inclusión de estas características parece extender el radio de influencia de la hoja de cálculo como un dispositivo útil para la educación matemática y merece la atención explotarlo adecuadamente.

BIBLIOGRAFÍA

1) Arcavi, A. (2003). The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 52, 215-241.
2) Guzmán, M. (1996). El rincón de la pizarra. Ensayos de visualización en análisis matemático. *Pirámide*, Madrid.
3) Zimmerman & Cunningham (1991). Introducción de los editores: ¿Qué es la visualización matemática? *In* W. Zimmerman & Cunningham (Eds.), *MAA notes number 19*: *Visualization in Teaching and Learning Mathematics* (pp.67-76). MAA.
4) Stewart, J. (2006). *Cálculo. Conceptos y contexto*. Tercera edición. Cengage Learning.
5) Zill, Dennis G., & Wright Warren S. (2011). *Cálculo de una variable*. Cuarta edición. McGraw Hill.
6) Thomas, G. B. (2006). *Cálculo de una variable*. Undécima edición. Pearson.
7) Villegas, J. L., Castro, E. y Gutiérrez, J. (2009). Representaciones en resolución de problemas: Un estudio de caso con problemas de optimización. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, Volume 7. Pp. 279-308.
8) Moreno, G. S. y Cuevas, V. A. (2004). Interpretaciones erróneas sobre los conceptos de máximos y mínimos en el cálculo diferencial. *Educación Matemática*. Vol. 16, no. 002. Pp. 93-104
9) Malaspina, U. (2002). Optimización matemática. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Volumen 15, Tomo 1, Pp. 67-73, México.
10) Camacho, M. M. y González, M. A. (1998). Una aproximación a los problemas de optimización en libros de bachillerato y su resolución con la TI-92. *Aula* 10, 1998. Pp. 137-152. *Ediciones Universidad de Salamanca.*
11) Amit, M. y Shlomo, V. (1990). Some Misconceptions in Calculus – Anecdotes or the Tip of an Iceberg? *Proceedings Fourteenth PME Conference, México*, I. Pp. 3-10.
12) Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical Problem Solving*, Nueva York, Academic Press.
13) Hiebert, J. y P. Lefevre (1986). Conceptual and Procedural Knowledge in Mathematics: An Introductory Analysis" *In* J. Hiebert (Ed.), *Conceptual and Procedural Knowledge*: *The Case of Mathematics*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates. Pp. 1-27
14) Smith, R. (2005). Spreadsheets in the Mathematics Classroom. *Proceedings of KAIST International Symposium on Enhancing U. Mathematics Teaching*. Corea.
15) Artigue, M. (1991). Analysis. En D. Tall (Ed.), Advanced mathematical thinking (Pp. 167-198). *Dordrecht: Kluwer Academic Publisher*.
16) Werle, L., & Vertuan, R. (2011). Registros de representação semiótica em atividades de modelagem matemática: uma categorização das praticas dos alunos. *Revista Unión. Revista Iberoamericana de Educación Matemática*.
17) Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 9(1), 143-168
18) Lagrange, J.B. y Artigue, M. (2009). Student's activities about functions at upper secondary Level: A grid for designing a digital environment and analyzing uses. En Tzekaki, M., Kaldrimidou, M. y Sakodidis, H. (Eds.). *Proceedings of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Vol. 3 (Pp. 465-472). Thessaloniki, Greece: PME.
19) Tall, D., Smith, D. y Piez, C. (2008). Technology and calculus. En M.K. Heid y G.W. Blume (Eds.), *Research on Technology and the Teaching and Learning of Mathematics. Research Syntheses*. Vol. 1 (Pp. 207-258). Charlotte N.C.: NCTM-IAP.

EL EENG COMO MÉTODO ALTERNATIVO NO INVASIVO EN EL REGISTRO DE LA ACTIVIDAD INTESTINAL

JOSÉ DE JESÚS MORENO VÁZQUEZ*, ALDO RAFAEL SARTORIUS CASTELLANOS, MARCIA LORENA HERNÁNDEZ NIETO, ANTONIA ZAMUDIO RADILLA

El estudio de la motilidad gastrointestinal puede ayudar a diagnosticar la causa frecuente de una gran variedad de síntomas, tales como dolor crónico, dispepsia, síndrome de intestino irritable, crecimiento bacteriano o íleo paralítico, entre otros, son asociados a la disfunción intestinal motora. Sin embargo, la carencia y costos de los equipos médicos hacen difícil la atención al paciente. Aunado a esto, los tiempos para obtener una cita médica para el uso del equipo y análisis conlleva a un resultado tardío, lapso en el que la enfermedad puede avanzar. Por lo tanto, la importancia de identificar el segmento de intestino que está siendo afectado por alguna enfermedad, ayudaría a que las pruebas exploratorias realizadas a los pacientes duraran menos tiempo y el diagnóstico médico sería más exacto y menos subjetivo. Así, el Electroenterograma (EEnG) no invasivo, podría ser de gran importancia en el auxilio clínico.El presente trabajo muestra diferentes técnicas de registro no invasivo de la actividad intestinal como alternativas a la detección de alteraciones del sistema digestivo.

DR. JOSÉ DE JESÚS MORENO VÁZQUEZ
Instituto Tecnológico de Minatitlán
Correo: jdjmv@hotmail.com

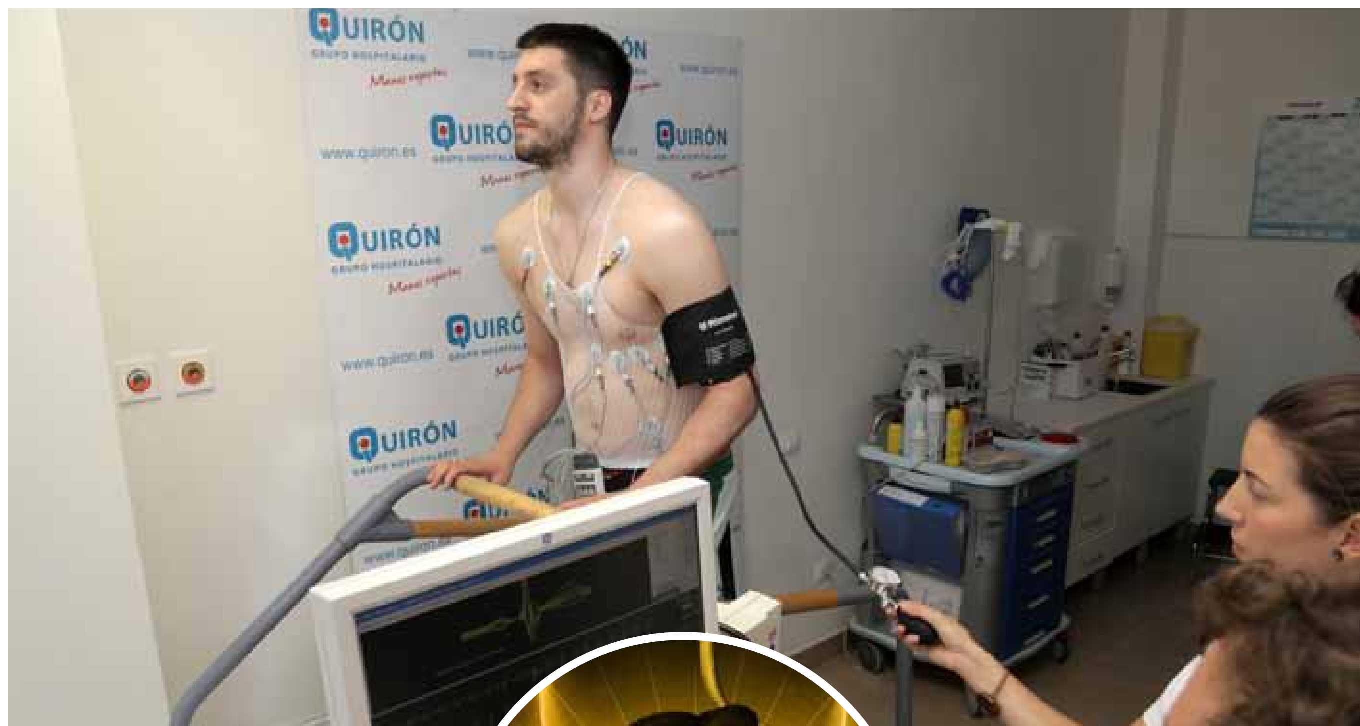
DR. ALDO RAFAEL SARTORIUS CASTELLANOS
Instituto Tecnológico de Minatitlán
Correo: aldo_sartorius@yahoo.com.mx

M.C. MARCIA LORENA HERNÁNDEZ NIETO
Instituto Tecnológico de Minatitlán
Correo: maloheni@hotmail.com

M.D.U. ANTONIA ZAMUDIO RADILLA
Instituto Tecnológico de Minatitlán
Correo: azamudior@hotmail.com

*Autor para correspondencia: José de Jesús Moreno Vázquez
Correo electrónico: jdjmv@hotmail.com
Recibido: 14 de marzo de 2013
Aceptado: 30 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530





INTRODUCCIÓN

La motilidad gastrointestinal normal, es el resultado de las contracciones coordinadas del músculo liso, consistiendo de movimientos que mezclan y hacen avanzar el contenido gastrointestinal a lo largo del tubo digestivo. La señal obtenida de la actividad mioeléctrica intestinal, recibe el nombre de Electroenterograma (EEnG) (1), está compuesta por un patrón eléctrico altamente regular y periódico llamado onda lenta (OL o SW por sus siglas en inglés) o ritmo eléctrico básico (BER por sus siglas en inglés) (2) y los potenciales de acción (PA) también conocidos como potenciales de espiga o ráfaga de picos (SB por sus siglas en inglés) (3). La figura 1 muestra el comportamiento característico de la actividad eléctrica del músculo liso gastrointestinal (4).

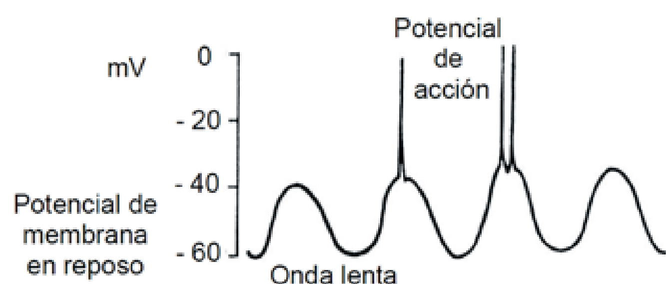


Figura 1. Actividad eléctrica del músculo liso.

El estudio de la motilidad gastrointestinal puede ayudar a diagnosticar la causa frecuente de una variedad de patologías clínicas, como dolor crónico, dispepsia, síndrome de intestino irritable, pseudo obstrucción intestinal crónica, crecimiento bacteriano excesivo, o íleo paralítico, que son asociados a la disfunción intestinal motora (5).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad existen diferentes métodos para estudiar la motilidad intestinal (MI) así, como los trastornos del aparato digestivo (6). Las técnicas usadas pueden clasificarse como:

Invasivos: requieren de intervención quirúrgica para implantar los sensores en el intestino, lo cual resulta ser una técnica poco común para su uso clínico. Se han realizado únicamente para estudios experimentales en animales, los resultados de estos experimentos han sido de gran importancia para conocer la señal mioeléctrica intestinal en seres humanos.

Semi-invasivo: se debe ingerir algún medio de contraste o se insertar un instrumento de medición, sin llegar a una intervención quirúrgica.

No invasivos: no requieren de cirugía, ni de ingerir algún medio de contraste o la introducción de algún instrumento.

En la tabla 1 se presentan algunas de las técnicas empleadas en el estudio de las señales gastrointestinales.

Tabla 1. Métodos de registro de la Motilidad intestinal

INVASIVOS	SEMI-INVASIVOS	NO INVASIVOS
Método de observación directa	Métodos radiográficos Enteroscopio y cápsula endoscópica	Monitorización del sonido
Transductores de fuerza y desplazamiento	Manometría intraluminal	Técnicas de ultrasonido intestinal
Laparoscopia	Método de impedancia eléctrica intraluminal múltiple	Método magnetoenterográfico
Monitorización mioeléctrica interna	Tomografía computarizada	Método mioeléctrico en superficie abdominal
Manometría con balón de látex implantados	Resonancia magnética	

El diagnóstico de patologías del intestino delgado es complejo, debido a que en muchas ocasiones los síntomas son inespecíficos y difíciles de diferenciar a consecuencia del acceso a todo el tracto intestinal lo que dificulta establecer un diagnóstico con algunas técnicas semi-invasivas.

La medida de la actividad mecánica intestinal se ha determinado tradicionalmente mediante el monitoreo de la presión del intestino (técnicas manométricas), pero presenta inconvenientes debido a que hay que introducir una sonda de presión intraluminal normalmente vía nasal, presentando problemas técnicos (obstrucción del catéter por el quimo y de la luz intestinal por el propio catéter) y fisiológicos (estimulación del reflejo mucoso peristáltico y el movimiento del paciente), causando alteraciones a los patrones normales de la MI presentando dudas sobre el uso clínico (7). Otra técnica empleada tradicionalmente por el cirujano es la laparotomía exploratoria, realizada sólo para confirmar la sospecha de una isquemia mesentérica u obstrucción por estrangulamiento. Por lo tanto, un sistema de monitoreo no invasivo de la actividad eléctrica intestinal y de patologías sería muy deseable en un entorno clínico.

TÉCNICAS DE REGISTRO NO INVASIVO

La detección no invasiva de la frecuencia del BER puede evitar trastornos de índole fisiológica y problemas técnicos que presentan los métodos intraluminales (7). Además, el contenido de frecuencia del BER puede proporcionar información sobre el estado de salud del intestino delgado.

Monitorización del sonido abdominal

Los sonidos intestinales son comúnmente evaluados como un medio de diagnóstico, específicamente como un auxiliar en el diagnóstico de enfermedades del íleo en la práctica clínica, o para detectar obstrucciones del lumen digestivo (8). Con el reciente progreso de los dispositivos de medición y el análisis computacional, se ha logrado una evaluación objetiva con la digitalización de los sonidos auscultados (9), ayudando a clarificar patologías y mostrando que los sonidos gastrointestinales disminuyen en pacientes con obstrucción mecánica. La relación entre los resultados de la auscultación abdominal y la motilidad gastrointestinal (8), mostraron que existe correlación entre el índice de sonido y la MI, considerándose que el estómago y el duodeno fueron las fuentes de mayor sonido. En la figura 2, se muestra la colocación de los micrófonos en el abdomen del paciente para obtener la señal del sonido gastrointestinal (10).

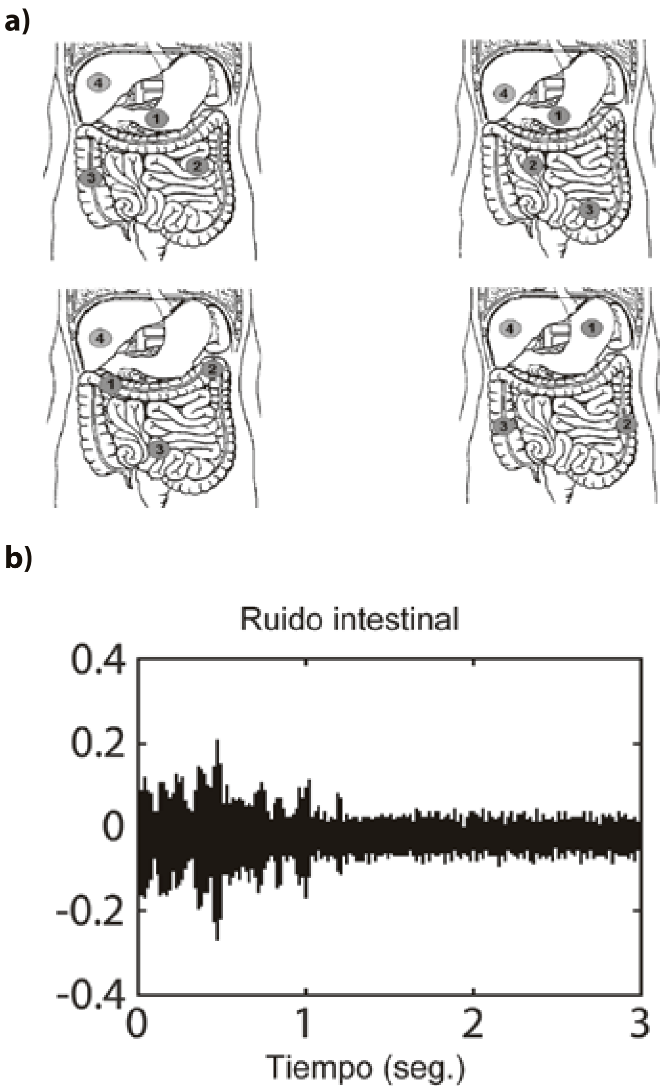


Figura 2. a) Colocación de transductores para la detección del ruido intestinal (sensor 1-3) y un transductor para el ruido del medio ambiente (sensor 4), b) Registro de captura de ruido intestinal.



Técnicas de ultrasonido

El ultrasonido abdominal ha sido usado para la evaluación normal de la estructura intestinal, el espesor de la pared y peristaltismo in vivo o en situaciones experimentales. Además, se ha utilizado para el diagnóstico de desórdenes gastrointestinales relacionados con la motilidad, debido a que puede detectar los movimientos del contenido intraluminal, teniendo la ventaja de una observación en tiempo real y alta resolución, permitiendo que los movimientos peristálticos verdaderos sean discriminados de los movimientos simples del mezclado del intestino, con la posibilidad de identificar segmentos intestinales con diversos grados de actividad peristáltica (11).

Los movimientos tanto peristálticos como no peristálticos, se han clasificado mediante la medición del peristaltismo del intestino delgado en función de su amplitud y duración asociada, permitiendo visualizar gráficamente el movimiento intestinal, el cual puede ser sujeto al análisis cuantitativo y cualitativo (12). En la figura 3 se muestra una imagen Doppler, el movimiento peristáltico se caracterizó por una alta amplitud con un desplazamiento Doppler.

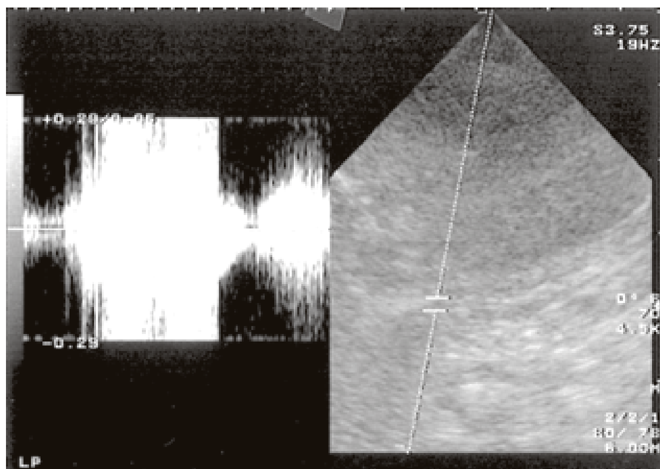


Figura 3. Imagen Doppler duplex del peristaltismo normal de un perro (12).

Métodos magnetoenterográficos

Los métodos biomagnéticos parecieran ser prometedores para evaluar la motilidad gastrointestinal debido a que son capaces de detectar el campo magnético generado por la corriente eléctrica del músculo eléctrico del intestino delgado (13). Dicho campo es tan débil que se requiere de un sensor extremadamente sensible conocido como magnetómetro superconductor de interferencias cuánticas (SQUID por sus siglas en inglés) usado para medir no invasivamente la actividad eléctrica intestinal. La figura 4a exhibe el monitoreo de las señales intestinales con el SQUID y en la figura 4b se muestra el registro simultáneo de las señales obtenidas en superficie abdominal.



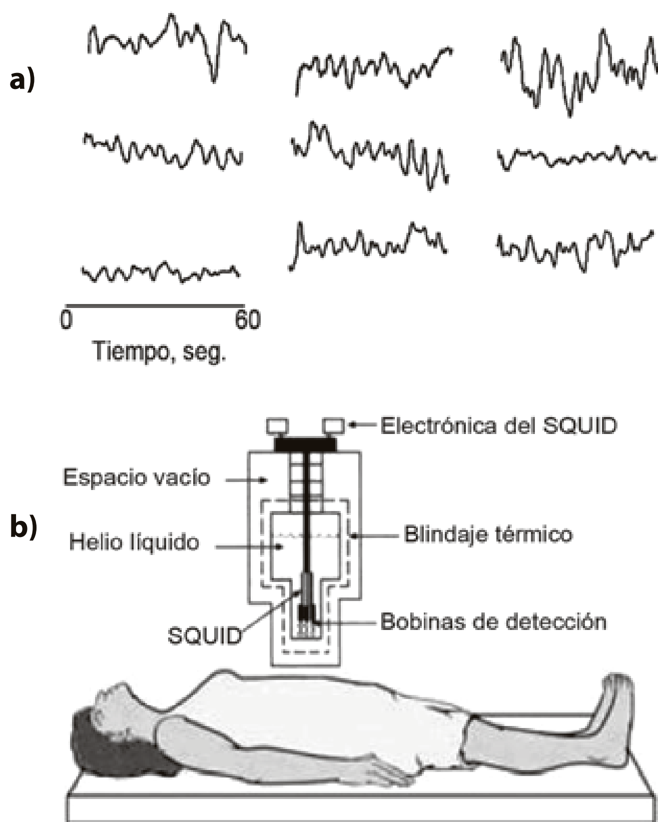


Figura 4. a) Monitoreo con el magnetómetro superconductor de interferencias cuánticas (14), b) Proyecciones del intestino delgado del campo magnético registrado en superficie abdominal (15).



El uso de mediciones magnéticas para estudiar el tracto gastrointestinal se puede dividir en dos categorías, la primera se refiere a los campos magnéticos producidos intrínsecamente por las corrientes eléctricas en el órgano, en tanto que la segunda se refiere a campos magnéticos producidos por la ingestión de trazadores magnéticos. En el primer grupo, las mediciones magnéticas se utilizan para detectar las corrientes eléctricas asociadas con el tracto gastrointestinal. En el segundo grupo, la medición de los campos magnéticos producidos por los marcadores ingeridos, permiten la determinación de la posición, la evolución temporal y cantidad del marcador proveyendo información sobre la motilidad gastrointestinal (16).

En estudios con animales la medición magnética ha logrado localizar la posición de las fuentes eléctricas en el estómago, el intestino (15) y el diagnóstico de la isquemia intestinal de origen arterial (17).

Métodos mioeléctricos

El registro no invasivo de las señales electrofisiológicas usando electrodos es un procedimiento común en estudios biomédicos, siendo desarrollados y aplicados tradicionalmente en la monitorización de la actividad cardiaca y encefalográfica, desarrollándose un gran número de herramientas de diagnóstico, extendiéndose en los últimos años al tracto gastrointestinal (18). El intestino delgado presenta características similares a las del estómago. Sin embargo, pocos trabajos se han publicado en la monitorización de la actividad mioeléctrica intestinal en superficie abdominal (19, 20), destacando la pequeña amplitud de la señal eléctrica intestinal en superficie centrándose específicamente en la OL. También se ha evaluado la correlación de los PA con el índice de motilidad en la superficie abdominal (SA) en perros (21). En la figura 5a se muestra la colocación de los electrodos en un perro, para verificar que la señal obtenida en superficie abdominal corresponde a la registrada a nivel interno; y en la figura 5b se aprecia el EEnG simultáneo entre el registro interno y el de la SA de un perro en condiciones fisiológicas normales (22).

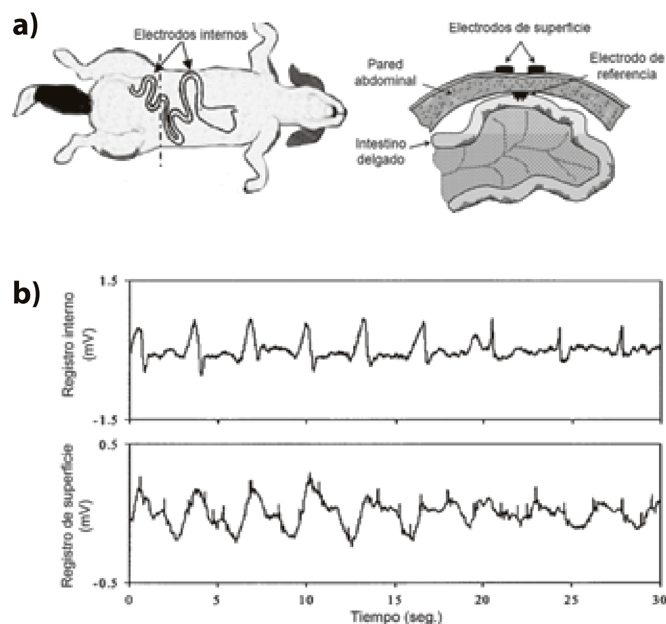
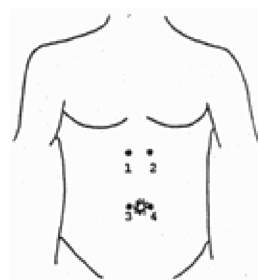


Figura 5. a) Electrodos internos suturados en la serosa gastroduodenal y electrodos colocados en la superficie abdominal sobre un el electrodo de referencia interno, b) Registro simultáneo del EEnG obtenido de un perro.

La detección no invasiva de la frecuencia de la OL en humanos se ha determinado en condiciones fisiológicas normales y se ha asociado al BER del intestino delgado (1,20). La señal registrada sobre el área intestinal presenta una frecuencia dominante entre 8 y 12 ciclos por minuto (cpm) decreciendo aboralmente. En la figura 6a se observa la distribución de los electrodos sobre la SA para monitorear el electrogastrograma (EGG) y el EEnG (20).



a)



b)

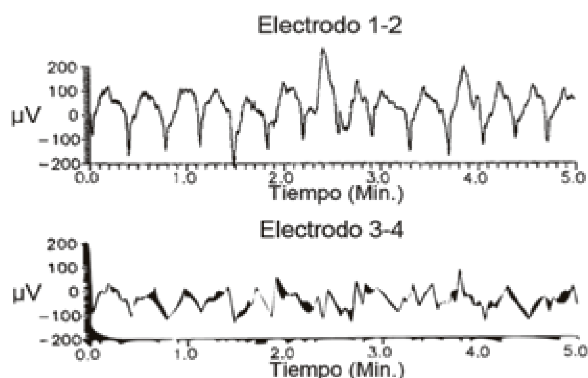


Figura 6. a) Localización de los electrodos para el registro en superficie abdominal de humanos del EGG (electrodos 1-2) y del EEnG (electrodos 3-4), b) Señal mioeléctrica registrada en los pares de electrodos.

COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS

Los sonidos intestinales pueden monitorearse de forma no invasiva durante largos periodos de tiempo, pero una de las mayores limitaciones son las interferencias de otras señales acústicas derivadas del corazón, estómago, respiración, músculos y sonidos ambientales. Los sonidos del corazón son la fuente principal de interferencia, presentando un ancho de banda que se superpone a la propia señal intestinal. La interferencia introducida por la respiración es de dos tipos: la del sonido del sistema pulmonar, y la del movimiento del cuerpo con la respiración. No existen métodos claramente definido que realicen una distinción entre los diferentes sonidos gastrointestinales, aunado a esto, la poca precisión para localizar la fuente del sonido limitan la aplicación de esta técnica. Además, los sonidos gastrointestinales representan el transporte del contenido intraluminal más que los movimientos de la pared intestinal (23).

Las técnicas de ultrasonido presentan la ventaja de poder llevar a cabo una observación en tiempo real con alta resolución, identificando segmentos intestinales con diversos grados de actividad peristáltica. El ultrasonido es biológicamente no invasivo y el paciente necesita una preparación mínima. La auscultación puede causar variaciones por la presión que ejerce el examinador sobre el transductor, provocando un aumento de la señal Doppler, que puede ser similar a las señales Doppler inducidas por contracciones intestinales verdaderas (11). Además, cubre un rango limitado debido a la obstaculización por el gas intestinal, lo que determina un amplio espectro ultrasonográfico provocando sombras acústicas distales complejas (24).

La ventaja del magnetoenterograma (MEG) es que los campos magnéticos son poco afectados por las bajas conductividades de las capas abdominales, ya que éstos actúan a través de la permeabilidad magnética que es relativamente constante en los tejidos, pero al desarrollar un dispositivo para medir campos magnéticos tan débiles, surgen los problemas del ruido, siendo las principales fuentes de interferencia: la red eléctrica y otros campos magnéticos del entorno, así como fuentes biológicas, especialmente el corazón y estómago (19). Asimismo, la respiración y el movimiento de componentes magnéticos en el intestino son otras fuentes de interferencia (17). Para prevenir la contaminación por ruido, se requiere de la construcción de una cámara de apantallamiento magnético de coste elevado (25). Además, para reducir la interferencia por contaminación magnética del alimento, los pacientes en estudio se deben de alimentar con dietas especiales con tres días de antelación.

Por otra parte, los materiales empleados por el SQUID adquieren superconductividad a muy bajas temperaturas (4 ºK – 9 ºK), por lo que se enfrían a través de inmersión en helio líquido, cuya producción y reciclaje son costosos (13). El electroenterograma (EEnG) representa una posible solución no invasiva para la evaluación de la actividad mioeléctrica intestinal. Sin embargo, el EEnG sobre la SA es afectado por las capas abdominales que tienen propiedades aislantes y

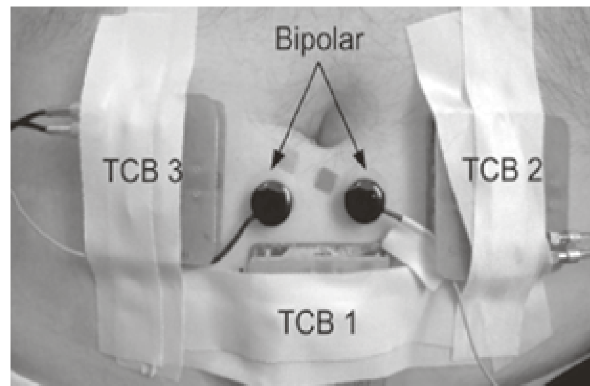


una área de monitoreo más grande (26), causando que las señales mioeléctricas intestinales sean atenuadas, causando baja relación señal-ruido por las interferencias fisiológicas, como la respiración, movimiento y el electrocardiograma (ECG) (19, 20).

No obstante, la técnica del potencial Laplaciano (Lp por sus siglas en inglés) del EEnG utilizando electrodos concéntricos flexibles (Figura 7a), presentan mejor desempeño que los electrodos rígidos en configuración bipolar (TCB por sus siglas en inglés) (Figura 7b), en cuanto a la reducción de impedancia electrodo-piel e interferencia por otros órganos internos (27). Además, se adaptan mejor a la curvatura del cuerpo en la superficie de medición, logrando la reducción de la interferencia respiratoria y la señal del ECG en la superficie abdominal, facilitando la identificación de la OL en comparación con los registros obtenidos con electrodos bipolares de disco convencionales. Además, podría ayudar a identificar los PA, que todavía no han sido identificados en los registros del EEnG de superficie en humanos (2). Sin embargo, el arreglo de electrodos de anillos concéntricos flexible activos junto con la técnica Laplaciana en el monitoreo EEnG, podría ser una herramienta muy valiosa para el diagnóstico no invasivo de las patologías gastrointestinales.



a)



b)

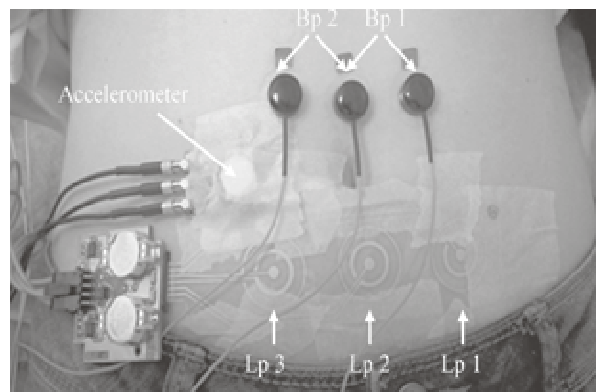


Figura 7. a) Sensores Laplacianos activos (TCB1-3) (28), b) Sensores Laplacianos flexibles (Lp 1-3) (2).

CONCLUSIONES

La importancia de identificar la parte exacta del segmento de intestino que está siendo afectado por alguna patología, ayudaría a que las pruebas exploratorias realizadas a los pacientes duraran menos tiempo y el diagnóstico médico sería más exacto y menos subjetivo. El registro en superficie del electroenterograma (EEnG), podría ser un alternativa de registro no invasiva de la motilidad intestinal. Los parámetros de la señal mioeléctrica del EEnG al dividirse principalmente en frecuencia y potencia pueden proporcionar información de variaciones en el BER, que podrían ser importantes en la práctica clínica. Cabe señalar que el EEnG no diagnostica directamente una enfermedad específica, o disfunción motora del intestino. Puede mostrar el comportamiento en el tiempo, frecuencia, amplitud y potencia de la señal mioeléctrica intestinal que pueden tener información de carácter diagnóstico.

BIBLIOGRAFÍA

1) Garcia-Casado J., Zena-Gimenez V., Prats-Boluda G. and Ye-Lin Y. (2014). Enhancement of Non-Invasive Recording of Electroenterogram by Means of a Flexible Array of Concentric Ring Electrodes. Annals of Biomedical Engineering, Vol. 42, No. 3, pp. 651–660.
2) Bass P., Code, C.F., Lambert, E.H. (1961). Motor and electric activity of the duodenum. AJP - Legacy, vol. 201, no. 2, pp. 287-291.
3) Ambache N. (1947). The electrical activity of isolated mammalian intestine. J. Physiol. 106:139-153.
4) Quigley, E.M. (1996). Gastric and small intestinal motility in health and disease. Gastroenterol Clin. North Am., Mar; 25(1): 113-45.
5) Cash B.D. Chey W.D. (2003). Advances in the management of irritable bowel syndrome. Curr. Gastroenterol. Rep., vol. 5, no. 6, pp. 468-475.
6) Rodríguez-Pérez A. Y., Moreno-Vázquez J. J., García-Casado J., Martínez-de-Juan J.L. (2012). Métodos de Registro de la Señal Mioeléctrica Intestinal en Superficie Abdominal. Coloquio de Investigación Tecnológica del Estado de Veracruz. Pág. 105-112. Misantla Ver. México.
7) Quigley, E.M. (1992). Intestinal manometry--technical advances, clinical limitations. Dig.Dis.Sci., vol. 37, no. 1, pp. 10-13.
8) Yamaguchi, K., Yamaguchi, T., Odaka, T., & Saisho, H. (2006). Evaluation of gastrointestinal motility by computerized analysis of abdominal auscultation findings. J.Gastroenterol Hepatol., vol. 21, no. 3, pp. 510-514.
9) Brian, L.C., Michael, S., Cynthia, J.O. (1999). Computerized Auscultation Applied to Irritable Bowel Syndrome. Digestive Diseases and Sciences, vol. V44, no. 9, pp. 1887-1892.
10) Chong, J.E., Leija L., Guillemin, F., Louis, V. (2001). Design and construction of an intestinal noises acquisition system. 23rd annual international Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. October 25-28. Istanbul, Turkey.
11) Gimondo, P. And Mirk, P. (1997). A new method for evaluating smaller intestinal motility using duplex Doppler sonography. A. J. R., 168, 187-192.
12) Yong-Joo, A., Heechun, L., Dongwoo, Ch., Youngwon, L., Jai-Ki, S., Mincheol, Ch., Junghee, Y. (2001). Application of pulsed Doppler ultrasound for the evaluation of small intestinal motility in dogs. J. Vet. Sci., 2(1), 71–74.
13) Richards, W.O., Garrard, C.L., Allos, S.H., Bradshaw, L.A., Staton, D.J., Wikswo, J. P., Jr. (1995). Noninvasive diagnosis of mesenteric ischemia using a SQUID magnetometer. Ann. Surg. vol. 221, no. 6, pp. 696-704.
14) Bradshaw, L.A., Myers, A.G., Richards, W.O, Drake, W., Wikswo, J.P. (2005). Vector projection of bio magnetic fields. Medical and Biological Engineering & Computing. 43 85-93.
15) Bradshaw, L.A., Ladipo, J.K., Staton, D.J., Wikswo, J.P., Jr., Richards, W.O. (1999). The human vector magnetogastrogram and magnetoenterogram, Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, vol. 46, no. 8, pp. 959-970.
16) Baffa, O., Oliveira, R.B. (2000). Biomagnetic research in gastroenterology in Biomag2000, Proc. 12th. Int. Conf. on Biomagnetism, J. Nenonen, R.J. Ilmoniemi, and T. Katila, Eds. (Helsinki Univ. of Technology, Espoo, Finland, 2001), pp. 995-998.
17) Seidel, S.A., Bradshaw, L.A., Ladipo, J.K., Wikswo, J.P., Jr., Richards, W.O. (1999). Noninvasive detection of ischemic bowel. J. Vasc. Surg., vol. 30, no. 2, pp. 309-319.
18) Jonderko, K., Kasicka-Jonderko, A., Krusiec-Swidergol, B., Dzielicki, M., Stroj, L., Dolinski, M., Dolinski, K., Blonska-Fajfrowska, B. (2005). How reproducible is cutaneous electrogastrography? An in-depth evidence-based study. Neurogastroenterol. Motil., vol. 17, no. 6, pp. 800-809.
19) Bradshaw, L.A., Allos, S.H., Wikswo, J.P., Jr., & Richards, W.O. (1997). Correlation and comparison of magnetic and electric detection of small intestinal electrical activity. AJP - Gastrointestinal and Liver Physiology, vol. 272, no. 5, p. G1159-G1167.
20) Chen, J., Schirmer, B.D, Mccallum, R.W. (1993). Measurement of Electrical Activity of the Human Small Intestine Using Surface Electrodes, IEEE Trans. BME, vol. 40, pp. 598-602.
21) García-Casado, J., Martínez-De-Juan, J.L., Silvestre, J., Saiz, J., Ponce, J.L., Prats-Boluda, G. (2001). Relationship between intestinal motility indexes from internal and surface recordings of electroenterogram. pp. 2016-2019.
22) García Casado, J., Martínez-De-Juan, J.L., Ponce, J.L. (2005). Noninvasive measurement and analysis of intestinal myoelectrical activity using surface electrodes. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on. vol. 52, no. 6, pp. 983-991.
23) Tomomasa, T., Morikawa, A., Sandler, R.H., Mansy, H.A., Koneko, H., Masahiko, T., Hyman, P.E., Itoh, Z. (1999). Gastrointestinal sounds and migrating motor complex in fasted humans. Abstract. Am. J. Gastroenterol. Feb. 94(2): 374-381.
24) Froehlich, J.M., Patak, M.A., Von, W.C., Juli, C.F., Zollikofer, C.L., Wentz, K.U. (2005). Small bowel motility assessment with magnetic resonance imaging. J. Magn. Reson. Imaging, vol. 21, no. 4, pp. 370-375.
25) Bradshaw, L.A., Myers, A., Wikswo, J.P., Richards, W.O. (2003). A spatio-temporal dipole simulation of gastrointestinal magnetic fields. Biomedical Engineering, IEEE Transactions on, vol. 50, no. 7, pp. 836-847.
26) García-Casado, J., Martínez-De-Juan, J.L., Ponce, J.L. (2003). Effect of abdominal layers on surface electroenterogram spectrum. Engineering in Medicine and Biology Society .Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE, vol. 3, pp. 2543-2546.
27) Prats-Boluda, G., Ye-Lin, Y., García-Breijo, E., Ibañez, J., García-Casado, J. (2012). Active flexible concentric ring electrode for noninvasive surface bioelectrical recordings. Meas. Sci. Technol. 23(125703):1–10.
28) Prats-Boluda, G., García-Casado, J., Martínez-De-Juan, J.L., Ye-Lin, Y. (2011). Active concentric ring electrode for non-invasive detection of intestinal myoelectric signals. Medical Engineering & Physics. 33. 446–455.





PRÁCTICAS DIRIGIDAS A LA MEJORA DE LA USABILIDAD DEL SOFTWARE

GABRIEL ALBERTO GARCÍA MIRELES*,
MA. ÁNGELES MORAGA DE LA RUBIA

La usabilidad es un atributo del software (y sistema) que considera la experiencia de las personas cuando interaccionan con las interfaces de un producto software. Una meta potencial de las organizaciones de desarrollo de software es mejorar la usabilidad de sus productos. Por otra parte, el software se desarrolla aplicando un proceso, el cual tiene un impacto significativo en la calidad final del producto, incluyendo su usabilidad. Teniendo esto en cuenta, en este trabajo se presenta un enfoque basado en el proceso de software en el cual nos interesa conocer las actividades, prácticas y métodos que podrían mejorar la usabilidad del software. Para ello, a partir de una revisión sistemática de literatura, identificamos los procesos de software que podrían ser complementados con prácticas de usabilidad. Adicionalmente, los métodos y técnicas de soporte a la usabilidad los relacionamos con cada proceso. Este es un primer paso en el desarrollo de una estrategia que permita introducir cambios en el proceso de software de cara a mejorar la usabilidad del producto.

M. C. GABRIEL ALBERTO GARCÍA MIRELES
Departamento de Matemáticas,
Universidad de Sonora, México
Correo: mireles@gauss.mat.uson.mx

DRA. MA. ÁNGELES MORAGA DE LA RUBIA
Instituto de Tecnologías y Sistemas de Información,
Universidad de Castilla – La Mancha, España
Correo: MariaAngeles.Moraga@uclm.es

*Autor para correspondencia: Gabriel Alberto García Mireles
Correo electrónico: mireles@gauss.mat.uson.mx

Recibido: 30 de septiembre de 2013
Aceptado: 05 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

La diversidad de sitios y aplicaciones web, redes sociales, software para dispositivos móviles, entre otros, llevan a nuevas formas de interaccionar con el software. En muchas ocasiones, los resultados que se obtienen de dicha interacción condicionan la disposición del individuo a continuar usando un software particular. Dado que una interacción deficiente puede provocar el fracaso del producto software, las organizaciones que desarrollan software se están dando cuenta de la importancia que tiene la usabilidad para que el software sea aceptado por los destinatarios a los que está dirigido (1).



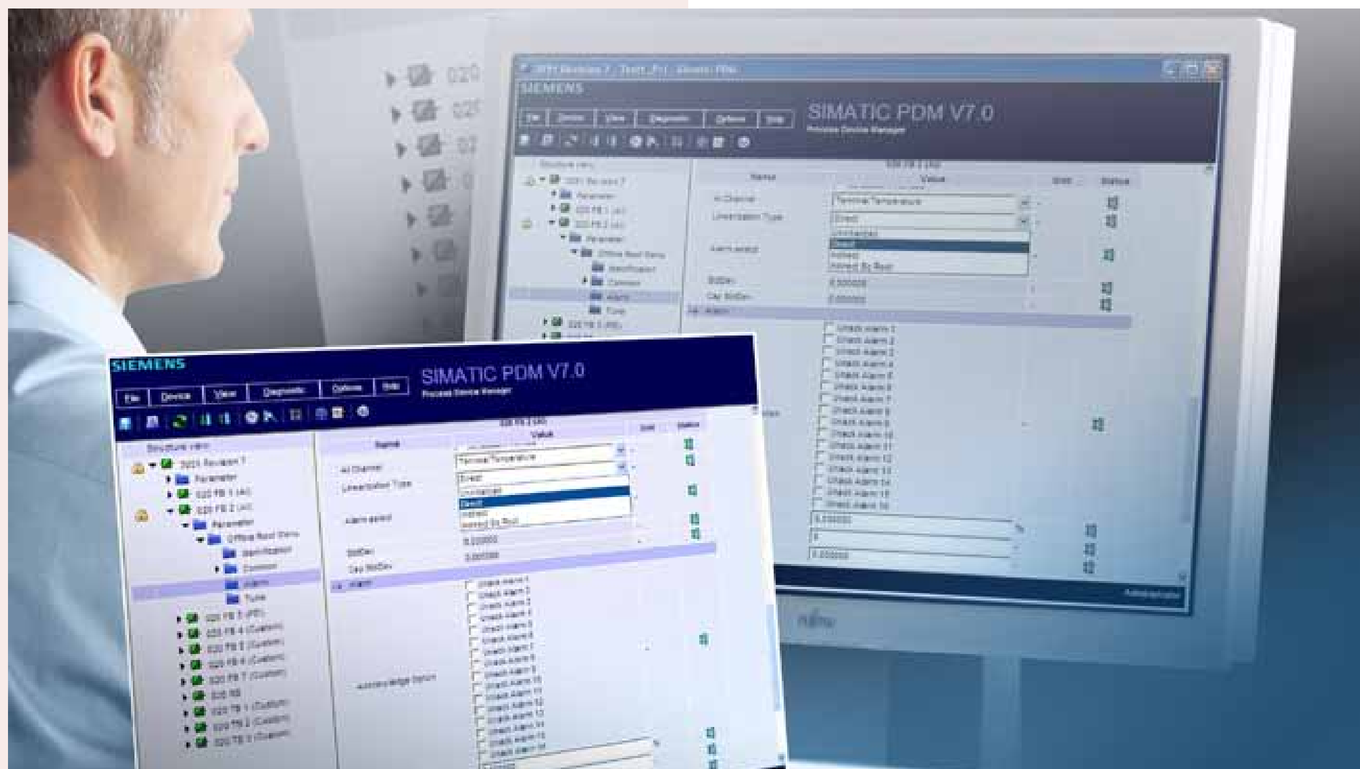
El diseño de sistema usables tiene como beneficios una mejor aceptación del producto por los usuarios, promueve una respuesta positiva en los clientes, reduce el tiempo de capacitación e incrementa la productividad de los usuarios (2). De hecho, la usabilidad está relacionada con la experiencia que tiene una persona cuando usa un software particular para realizar una tarea específica. Esa experiencia se puede evaluar en términos de lograr el objetivo de la tarea, el uso eficiente de recursos y la actitud del usuario de cara a dicha experiencia (3). En consecuencia, el software deberá tener mecanismos apropiados de interacción según las tareas que realice el usuario.

El desarrollo de sistemas usables requiere de la aplicación de métodos y herramientas que se han estado desarrollando en dos campos: el Diseño Centrado en el Usuario (UCD) y la Ingeniería de Software (4). El primero se enfoca en la perspectiva del usuario, en donde la meta es comprender el papel que desempeña cada uno de los distintos tipos de usuario en el contexto de operación del sistema y las tareas requeridas en ese contexto particular. El segundo se centra en el sistema y las funciones que debe proporcionar. Aunque hay diferencias en las perspectivas, ambas disciplinas comparten objetivos a la hora de desarrollar un sistema usable, por ejemplo, elegir las prácticas y métodos más apropiados que se usarán durante el desarrollo del producto software.

En una situación ideal, se esperaría que las organizaciones que desarrollan software interactivo cuenten con un equipo multidisciplinario de expertos. Sin embargo, la mayoría de las empresas que desarrollan software son pequeñas empresas, cuyo personal tiene, principalmente, estudios en las áreas de computación, y son ellos quienes se deben encargar del sistema completo (5).

La usabilidad de aplicaciones web, software para dispositivos móviles, y programas de juegos, entre otros, continuamente está bajo examen por los usuarios. Las experiencias negativas con el software podrían alejar a los usuarios. Dada esta situación, el objetivo de la investigación que realizamos es encontrar artículos científicos en los cuales se señale cómo mejorar la usabilidad del software considerando prácticas de usabilidad, es decir, actividades, prácticas y métodos que podrían usarse en el proceso de desarrollo enfocadas particularmente en esta característica de calidad.





La identificación de prácticas para mejorar la usabilidad del software que se presenta se basa en un estudio de literatura existente en el tema de combinación de actividades de UCD y de proceso de software. Se describe brevemente la metodología empleada y los principales resultados encontrados. Para armonizar los resultados con el enfoque de proceso de software, relacionamos las actividades y/o métodos sugeridos en la literatura revisada con cada uno de los proceso de desarrollo de software del ISO/IEC 12207 (6).

MÉTODO

Con la finalidad de comprender cómo se ha abordado la usabilidad en el proceso de desarrollo de software, aplicamos un método que se ha propuesto en el campo de la ingeniería de software, denominado Revisión Sistemática de Literatura (RSL) que se diferencia de las revisiones convencionales por su rigurosidad (7). El método está dirigido principalmente a investigadores y tiene como meta identificar, evaluar e interpretar las evidencias, publicadas en artículos científicos, que se refieren a un tema o pregunta de investigación particular. Los artículos seleccionados que responden a la pregunta de investigación se denominan artículos primarios. El procedimiento para realizar las RSL contiene tres actividades principales: *planeación*, *ejecución de la revisión* y *generación de informes*.

Durante la *planeación* se determina con claridad el tema de investigación, se establece la estrategia de búsqueda y se especifican los criterios de selección de los artículos primarios. La información generada se documenta en el protocolo de revisión, el cual guiará todo el proceso de revisión sistemática. En la tabla 1 se presentan las preguntas de investigación, los términos considerados para realizar la búsqueda en bases de datos de artículos científicos, así como algunos elementos que deberán considerarse en el artículo para decidir su inclusión en para nuestra investigación.

Tabla 1. Algunos elementos considerados en el protocolo de la RSL de proceso de software y usabilidad.

Elemento del protocolo	Aplicación
Preguntas de investigación	• ¿Cuál es el estado de la investigación con respecto a la relación entre procesos de software y la usabilidad? • ¿Cuáles son los procesos y actividades que deberían considerarse para mejorar la usabilidad del software?
Términos de búsqueda	• Usabilidad • Producto o software • Proceso de software, proceso de desarrollo, método de desarrollo
Criterios de inclusión de artículos	• Artículo publicado en inglés • Artículo que describa el proceso y/o actividades orientadas a mejorar la calidad • Artículo publicados hasta el año 2010

Tras la revisión del protocolo de revisión, se procede con la *ejecución de la revisión* de la literatura. Aquí se realizan las consultas en las bases de datos descritas en el protocolo, usando los términos de búsqueda. Esta actividad da lugar a un conjunto de artículos recuperados. En nuestra investigación, recuperamos 504 artículos de cinco bases de datos: Scopus (http://www.scopus.com/), Science@Direct (http://www.sciencedirect.com/), IEEE (http://ieeexplore.ieee.org/xpl/periodicals.jsp), ACM (http://dl.acm.org/) y SpringerLink (http://link.springer.com/).

El proceso de selección de artículos requiere, al menos, dos etapas. En la primera se revisa el título, resumen y palabras clave con el objetivo de determinar si el artículo satisface los criterios de inclusión especificados. Si es así, el artículo se selecciona como artículo candidato. En la segunda etapa, se lee el artículo completo y se determina si el trabajo contiene los criterios de calidad de investigación especificados, como los de rigurosidad metodológica y relevancia en el sector industrial. Si el artículo candidato cumple con los criterios establecidos, entonces se selecciona como primario. En nuestra investigación, identificamos 168 estudios candidatos y 18 primarios. La lista de artículos primarios puede consultarse en García-Mireles et al (8).

La figura 1 muestra la cantidad de artículos publicados por año. Como se observa, la mayor parte de contribuciones se realiza a partir de 2005. Los artículos publicados muestran que es un tema presente en la investigación, aunque la cantidad limitada de ellos sugiere que la línea de investigación aún no se ha consolidado. Por tanto, esta área de investigación ofrece oportunidades para investigar cómo mejorar la usabilidad del software tomando en cuenta las prácticas que los ingenieros de software deberían aplicar al momento de desarrollar el producto.



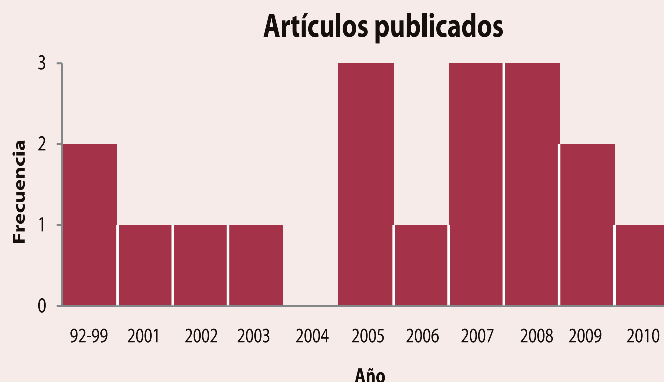


Figura 1. Artículos publicados por año.

La identificación de los artículos primarios permite la extracción de información relevante para contestar las preguntas de investigación. Para ello se elabora una plantilla en la cual se establecen los datos de interés. En nuestro caso consideramos los siguientes elementos: definición de usabilidad empleada, estándares usados en el proceso de desarrollo de software, actividades agregadas o modificadas del proceso de desarrollo que, según los autores del artículo, mejorará la usabilidad del software y el método de investigación empleado para validar la propuesta. Finalmente, se establece un enfoque de análisis de los datos recuperados en las plantillas, en el cual se clasifica y sintetiza la información con el objetivo de contestar las preguntas de investigación. En la siguiente sección se describirán las propuestas encontrados en los artículos evaluados.

Finalmente se realiza la actividad de *generación de informes* de la RSL, en donde se establece la estrategia de difusión de resultados de la investigación. El objetivo es presentar los resultados a las audiencias que pueden ser beneficiarias de esta información. La estrategia puede incluir revistas especializadas en el tema de investigación, revista de divulgación general, páginas web, carteles, y otros medios. En nuestro caso, la RSL fue publicada en una revista especializada del área de informática (García-Mireles et al. 2013).

ANÁLISIS DE LOS ARTÍCULOS PRIMARIOS

Los artículos primarios pueden agruparse en cuatro temas principales (Figura 2), según el contexto en el cual fueron aplicadas las actividades que tienden a mejorar la usabilidad: procesos convencionales de desarrollo de software (33%), adaptación en procesos de desarrollo

específicos a dominios tecnológicos particulares (17%), enfoques de desarrollo ágil (22%) y mejora de la especificación de requisitos de calidad (28%). Usamos esta clasificación porque facilita el análisis de los artículos primarios.

Clasificación de artículos primarios

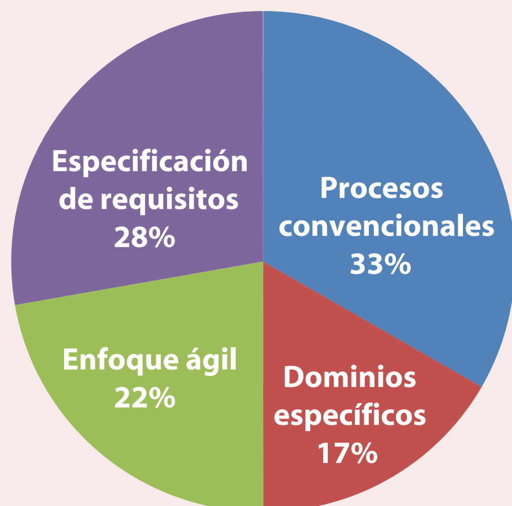


Figura 2. Porcentajes de clasificación.

Procesos convencionales de desarrollo de software

En esta categoría se encuentran diversas propuestas que usan como referencias los ciclos de vida tradicionales de desarrollo de software, donde estos se caracterizan por una planeación inicial de todo el proyecto de software y elaboración de productos (documentos o software) en cada una de las etapas metodológicas. El modelo al que se hace referencia en los artículos primarios es el Proceso Unificado. Las propuestas revisadas recomiendan involucrar al usuario, entender el contexto de uso del sistema, aplicar un enfoque de desarrollo iterativo y evaluar nuevos prototipos. Además, se sugiere incluir modelos de tarea, requisitos de usabilidad, patrones de diseño de usabilidad, y evaluación de prototipos para determinar la usabilidad de interfaces.

Algunas propuestas señalan la incorporación de roles específicos, como el ingeniero de usabilidad, el diseñador de interfaz de usuario y el examinador de usabilidad. Otras apuntan que en el proceso de desarrollo también deberían producirse productos como diseño del producto, modelos de usuarios, modelos de tarea, escenarios de uso, diseño de pantallas, prototipos de baja fidelidad (en papel) y prototipos de alta fidelidad (en software).

Procesos orientados a dominios particulares

En esta categoría se encuentran las propuestas de proceso que consideran las características particulares de la tecnología que soporta al software. Algunas propuestas han señalado que uno de los principales requisitos es el establecimiento de metas de usabilidad y señalan que se deberían considerar la identificación de necesidades, establecer requisitos, elaborar el diseño conceptual, el diseño físico y la implementación. En el caso de aplicaciones web, se recomienda identificar el propósito



esencial, modelizar los roles, modelizar tareas, agrupar tareas, realizar el diseño preliminar de interfaces, modelizar la interacción, generar el prototipo, elaborar el diseño detallado y construir el software. Además, se recomienda entrenamiento especial y coordinación cercana entre diseñadores de interfaz de usuario y programadores.

Propuesta orientadas a métodos ágiles

A diferencia de los métodos convencionales, en los métodos ágiles se recomiendan prácticas en las cuales se genere una versión operable (que pueda ser ejecutada en la computadora) del producto software desde las primeras semanas de desarrollo. Entre las prácticas recomendadas, se propone el modelado de usuario, modelado del diseño de interfaz por implementar y la evaluación de usabilidad. El cliente podría participar en la evaluación de prototipos de alta y baja fidelidad.

Propuestas orientadas a los requisitos de calidad

En esta categoría se trata de obtener una especificación de requisitos de usabilidad más completa y exacta. Algunas propuestas sugieren incorporar aspectos de usabilidad y utilizar la evaluación de expertos (heurísticas) con base en guías de inspección de usabilidad. Otras propuestas recomiendan realizar las actividades de descripción del contexto, determinación de los escenarios de análisis, evaluación de escenarios y la interpretación de resultados. Finalmente, otros trabajos proponen la creación de perfiles de usuario y la participación activa de los usuarios durante el análisis de requisitos.

La clasificación y análisis de los artículos primarios arroja dos resultados importantes. Primero, si una organización que desarrolla software desea mejorar la usabilidad de sus productos necesita considerar prácticas específicas. Segundo, la identificación de las prácticas de usabilidad, proporciona un conjunto inicial de prácticas con la cual una organización de software podría iniciar un proyecto de mejora de su proceso de desarrollo de software.

INTEGRACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE SOPORTE A LA USABILIDAD EN EL PROCESO DE DESARROLLO DE SOFTWARE

Para facilitar el uso de las prácticas de usabilidad, estás se analizan considerando su propósito y etapa del ciclo de vida del desarrollo de software en la cual deberían aplicarse. Por otra parte, se requiere un conjunto de procesos aplicables en cada una de las etapas del ciclo de vida del software, con los cuales podamos establecer una asociación entre las prácticas de usabilidad y los procesos correspondientes. Una referencia de procesos consensuada y usada en el sector industrial es el estándar ISO/IEC 12207 (ISO 2008). Este estándar describe los procesos principales que una organización debería definir para mejorar la calidad del software que desarrolla.





Tabla 2. Relación entre los procesos de software y las actividades métodos y técnicas de soporte a la usabilidad.

Proceso	Actividad de usabilidad sugerida	Métodos y técnicas de soporte
Implementación de software Planeación del desarrollo de software	Planeación de tareas de usabilidad	Elaboración de calendario para ciclo de prototipos, planificación del diseño y asignación de recursos
Análisis de requisitos de software Establecer características de calidad. Verificación de requisitos	Diseñar modelos conceptuales	Casos de uso con escenarios alternativos, prototipos de baja fidelidad, modelo de dominio, evaluación de productos de la competencia para establecer metas de usabilidad, modelado de tareas de usuario, modelado conceptual y validación con usuarios representativos
Diseño arquitectónico de software Construir la estructura de alto nivel de software y verificarla	Estandarizar el diseño de interfaces de usuario	Elaborar modelo de navegación, presentación, prototipo de interfaz gráfica, usar patrón MVC para definir la arquitectura, modelo de datos, de componentes y de procesamiento/ modelo de interacción. Evaluaciones heurísticas y pruebas de usuario sobre prototipos
Diseño detallado de software Especificar y verificar las características de los componentes	Diseño detallado de interfaces	Determinar objetos visuales y patrones de la interfaz de usuario, prototipos de alta fidelidad, definir las características de elementos visuales y de interacción de las pantallas, elaborar diseño detallado para contextos de interacción seleccionados, validación con usuarios y expertos
Construcción de software Desarrollar, documentar y probar cada elemento de software	Construir las interfaces de usuario	Implementación del prototipo, presentación de contenidos en interfaz web, refactorización de código, uso de herramientas automáticas, uso de patrones de diseño y bibliotecas de componentes, reutilizar código y evaluación por expertos y usuarios
Integración de software Desarrollar y ejecutar un plan de integración y pruebas	Integrar interfaces de usuario	Integrar los componentes
Prueba de calidad del software Realizar pruebas de calidad con base en los requisitos especificados	Verificar la usabilidad del software	Evaluaciones heurísticas y caminatas, pruebas de usabilidad guiadas por expertos, establecer meta, método y criterio de evaluación, inspecciones de usabilidad colaborativas

La tabla 2 muestra la relación que establecimos entre los procesos del ISO/IEC 12207 dirigidos al desarrollo de software y las recomendaciones para mejorar la usabilidad del producto.

La primera columna de la tabla presenta el nombre de los procesos de software del estándar en negritas, seguido de una breve descripción. La segunda columna presenta el nombre de actividad sugerida y que podría servir de enlace con las actividades contenidas en los procesos de software. La tercera columna señala métodos y técnicas que podrían usarse para tomar en cuenta a la usabilidad en cada proceso. Por ejemplo, en el proceso de análisis de requisitos se incluyen una gran cantidad de técnicas para identificar al usuario, establecer el perfil del usuario, definir las tareas que realiza, especificar el contexto en el cual opera, realizar propuestas de diseño de interfaz y su correspondiente validación para definir los requisitos de usabilidad.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La usabilidad es un atributo del software que las organizaciones deberían considerar cuando implementan sistema interactivos. Los resultados de la revisión sistemática de literatura permiten identificar las prácticas de usabilidad que podrían ser aplicadas durante el desarrollo del software. Además, el análisis de las prácticas de usabilidad permitió identificar aquellos procesos, descritos en el estándar ISO/IEC 12207, que requieren agregar o modificar actividades para mejorar la usabilidad del producto software.

La mejora de la usabilidad del software es un proceso iterativo, en el cual en diferentes tiempos del proyecto de desarrollo del producto, los ingenieros de software pueden visitar a los usuarios para determinar los requisitos de usabilidad, validar interfaces y comprobar que el software efectivamente mejoró la usabilidad.

A partir de este trabajo podrían desarrollarse un conjunto de metodologías y procesos de soporte a la usabilidad del software. Por ejemplo, podría desarrollarse un método de evaluación cuya meta sea determinar el grado en el cual las organizaciones de desarrollo de software implementan prácticas de usabilidad. Otra aplicación de estos resultados es el desarrollo de un método de adaptación del proceso de desarrollo de software para que incluya prácticas de usabilidad. Si consideramos, adicionalmente, mediciones de usabilidad aplicadas tanto al software como a las prácticas sugeridas, podrían desarrollarse métodos para determinar el grado de satisfacción de los requisitos de usabilidad y la eficiencia de las prácticas de usabilidad implementadas. Además, estas futuras aportaciones deberían ser validadas a través de estudios empíricos en organizaciones que desarrollan software.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias al financiamiento del proyecto GEODAS-BC (Ministerio de Economía y Competitividad y Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER, TIN2012-37493-C03-01).

BIBLIOGRAFÍA

1) Berntsson Svensson, R., Gorschek, T., Regnell, B., Torkar, R., Shahrokni, A. and Feldt, R. (2012). Quality requirements in industrial practice-an extended interview study at eleven companies. *IEEE Transactions on Software Engineering* 38(4): 923-935.
2) Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design. *International Journal of Human Computer Studies* 55(4): 587-634.
3) Bevan, N. (2010). Los nuevos modelos de ISO para la calidad y la calidad en uso del software. *Calidad del producto y proceso software*. C. Calero, M. Á. Moraga and M. Piattini, Ra-Ma: 55-77.
4) Seffah, A., Desmarais, M. and Metzker, E. (2005). HCI*, Usability and Software Engineering Integration: Present and Future. Human-Centered Software Engineering — Integrating Usability in the Software Development Lifecycle*. A. Seffah, J. Gulliksen and M. Desmarais, Springer Netherlands. 8: 37-57.
5) Seffah, A. and Metzker, E. (2004). The obstacles and miths of usabilitiy and software engineering. *Comm. Of the ACM* 47(12): 71-76.
6) ISO (2008). ISO/IEC 12207 Systems and software engineering — Software life cycle processes
7) Kitchenham, B. and Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering.*Technical Report* EBSE/EPIC-2007-01.
8) García-Mireles, G. A., Moraga, M.A., Garcia, F. and Piattini, M. (2013). The Influence of Process Quality on Product Usability: A Systematic Review. *CLEI Electronic Journal* 16(2): 1-13 en: http://www.clei.org/cleiej/paper.php?id=278..



CÁMARA DE IRRADIACIÓN UV-C ECONÓMICA Y SUS POTENCIALES APLICACIONES EN LA DESINFECCIÓN DE ALIMENTOS

RICARDO RODRÍGUEZ MIJANGOS*, GILBERTO GONZALEZ BOUÉ, FELIPE BARFFUSON DOMINGUEZ, JUAN MANUEL VARGAS LÓPEZ, MARIA SUSANA YÉPIZ GÓMEZ

En este trabajo se propone la utilización en potenciales alimentos, de una cámara portátil de irradiación con luz ultravioleta, en el rango de longitudes de onda de alta energía denominado rango C, que es la parte energética del espectro de luz. La amplia experiencia en varias partes del mundo ha demostrado que es la más eficiente para inhibir el crecimiento de bacterias en un material biológico. Hay métodos químicos para obtener el mismo resultado, pero tiene el inconveniente de la posible contaminación del material, lo cual en nuestro caso no sucede, ya que nos interesa inhibir bacterias en alimentos con irradiación, que no requiere un tratamiento químico.

Se presentan resultados preliminares del potencial uso de la cámara germicida para desinfección de posibles alimentos. De interés regional en la zona del yaqui, Sonora, se ha identificado a la moringa y al frijol germinado. En este artículo se dan resultados preliminares de irradiación en frijol germinado.

Lo presentado en este escrito da la pauta para posibles investigaciones; incluso dado el bajo costo de la cámara de irradiación, puede ser útil en la enseñanza.

DR. RICARDO RODRÍGUEZ MIJANGOS
Depto. de Investigación en Física,
Universidad de Sonora
Correo: mijangos@cifus.uson.mx
M.C. GILBERTO GONZÁLEZ BOUÉ
Departamento de Física,
Universidad de Sonora
Correo: gonzalez@fisica.uson.mx

M.C. FELIPE BARFFUSON
Departamento de Física,
Universidad de Sonora
Correo: fbarffuson@gmail.com

DR. JUAN MANUEL VARGAS LÓPEZ
Depto. de Investigación y Posgrado en
Alimentos, Universidad de Sonora
Correo: vargasra@hotmail.com
DRA. MARÍA SUSANA YÉPIZ GÓMEZ
Depto. de Investigación y Posgrado en
Alimentos, Universidad de Sonora
Correo: msyepiz@gmail.com

*Autor para correspondencia: Ricardo Rodríguez Mijangos
Correo electrónico: mijangos@cifus.uson.mx
Recibido: 12 de marzo de 2013
Aceptado: 23 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

La optimización de la buena estabilidad de las materias alimenticias pasa por las metodologías que permiten ejercer un riguroso control sobre la "población microbiana", reducir el número inicial de microorganismos y evitar el desarrollo del mismo. Para conseguir la reducción de la carga inicial basta con extremar, desde un principio, la higiene en todas las manipulaciones. En cambio, para luchar contra el desarrollo de microorganismos existe la alternativa de escoger entre dos tipos de métodos: físicos y químicos.

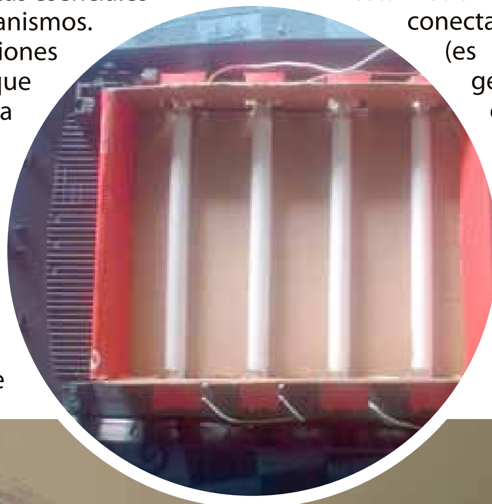
Un método físico utilizado en la conservación de alimentos es la radiación ultravioleta con propiedades germicidas, conocida como región UV-C (región del espectro electromagnético: 200-280 nm), en esta región hay una energía típica con una longitud de onda de 253 nm, muy perniciosa para el material biológico. Las reacciones químicas inducidas por estas radiaciones pueden causar la detención de las reacciones metabólicas esenciales para la supervivencia de los microorganismos. De esta forma se inducen modificaciones tales como la ruptura de enlaces, lo que llega a impedir la transcripción y la replicación del ADN.

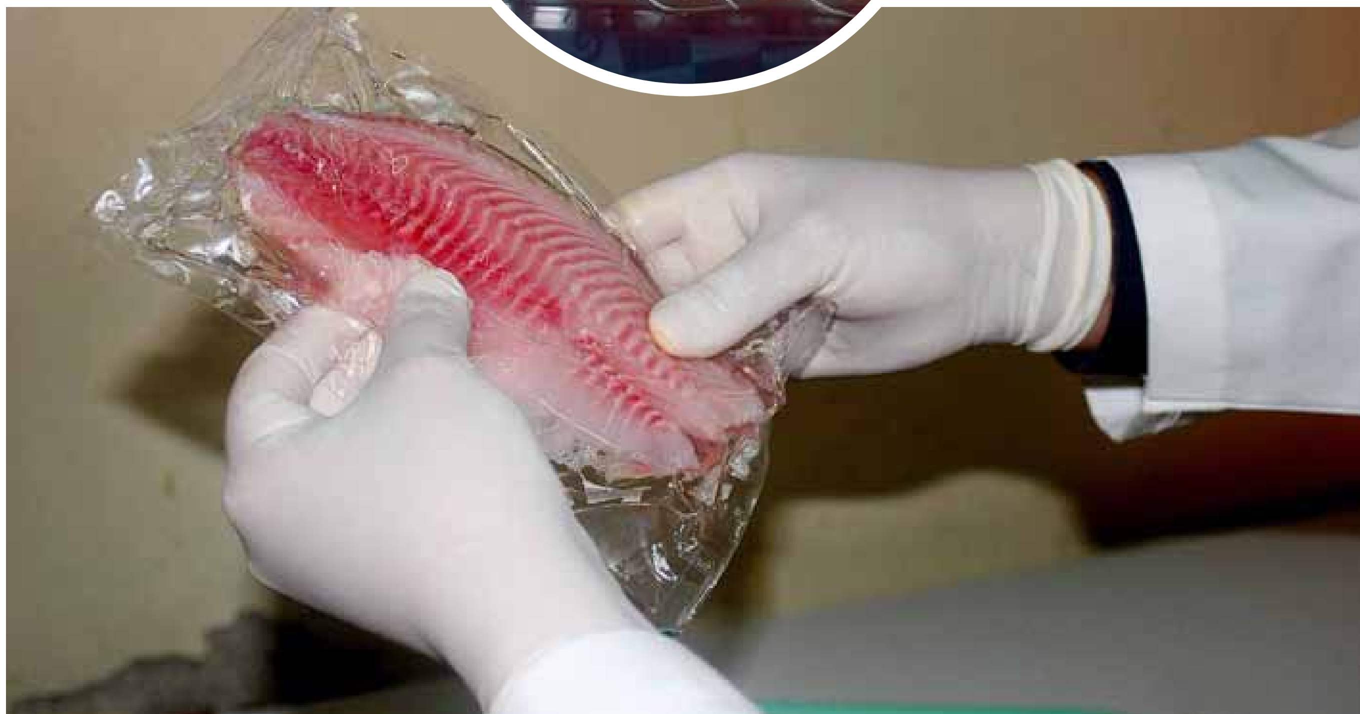
La resistencia de los microorganismos a esta radiación queda determinada por sus capacidades para reparar estos daños. Por lo que algunos tipos de microorganismos son eliminados con la intensidad o energía asociada a la radiación UV-C, la energía que afecta la muestra se cuantifica en la denominada dosis, la cual está definida por unidad de energía/unidad de área que incide sobre el material. Posibles unidades son joules/cm^2. Conviene introducir el tiempo de exposición que aparecería en las unidades para la dosis como watts X segundo/cm^2. Esta dosis puede variar, puede ser menor o mayor según el microorganismo (1). Las radiaciones UV penetran poco en los líquidos y casi nada en los sólidos, por eso se utilizan para destruir los microorganismos presentes en el aire o en la superficie.

Para realizar este trabajo se instrumentó una cámara para irradiación de muestras de alimentos con luz ultravioleta con la finalidad de estudiar su eficacia en la inhibición del crecimiento de microorganismos patógenos.

EXPERIMENTAL

En la figura 1 se muestra la cámara de irradiación, cuyo material es un plástico opaco a la luz UV, la cual está instrumentada con una lámpara fluorescente conectada con balastros, UV-C de 15 watt (es una lámpara comercial denominada germicida ULTITECH T8 que se consigue en ciudades con establecimientos comerciales que venden lámparas de iluminación, en nuestro caso en Hermosillo, Sonora, México) y un termómetro digital que da lecturas de la temperatura exterior e interior de la cámara. Las muestras pueden colocarse en posiciones de 5, 10, 15 y 20 cm, distantes de la lámpara.





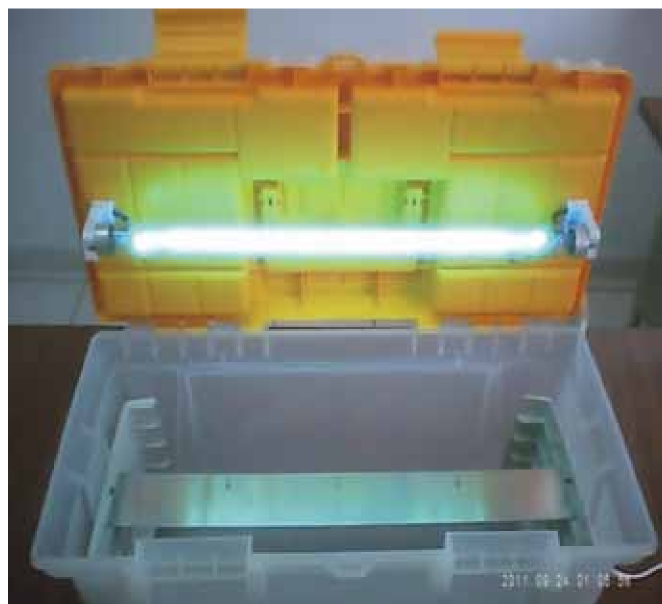


Figura 1. Cámara de irradiación UV germicida portátil.

La dosis se controla por la distancia de la fuente de UV a la muestra y el tiempo de exposición en esta. Las dosis recibidas por los alimentos en cada una de las posiciones se calculan con el programa de cómputo realizado por el primero de los autores, denominado GUS-UVC. Dada un área, una distancia y un tiempo de exposición, el programa calcula la dosis a la que estaría sujeta una muestra colocada sobre esa área. El efecto decrece con la distancia según la figura 2.

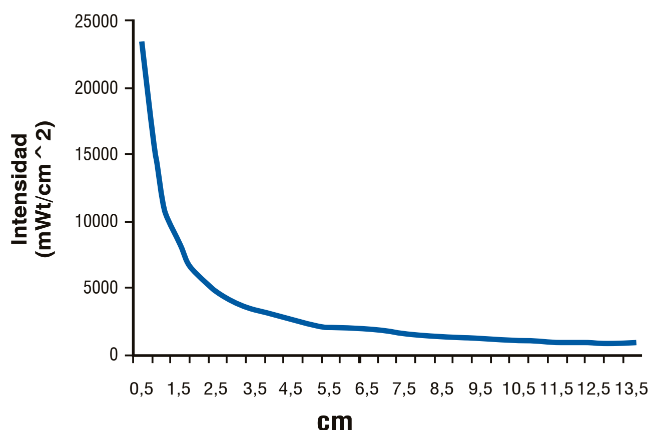


Figura 2. Intensidad de UV *vs* Distancia a la lámpara.

Para checar la homogeneidad de la radiación a lo largo del tubo fluorescente de UV, colocamos en la cámara de esterilización tres muestras cristalinas de halogenuro alcalino (2), en particular KCl:Eu2+, una a cada extremo del tubo y otra en el centro, para ver qué tan homogéneo es el campo de radiación emitido por el tubo. A continuación sometimos las muestras a la radiación ultravioleta a diferentes tiempos y luego le hicimos a los cristales un estudio de termoluminiscencia. En la figura 3 se muestra el resultado del análisis, notándose lo siguiente: a) el tubo sí emite radiación UV, la intensidad es mayor en el centro e igual en la parte izquierda y derecha. A un minuto de irradiación en la muestra se crean tantas trampas (emisores luminiscentes microscópicos) que el equipo de Termoluminiscencia se satura, ya que es muy sensible.

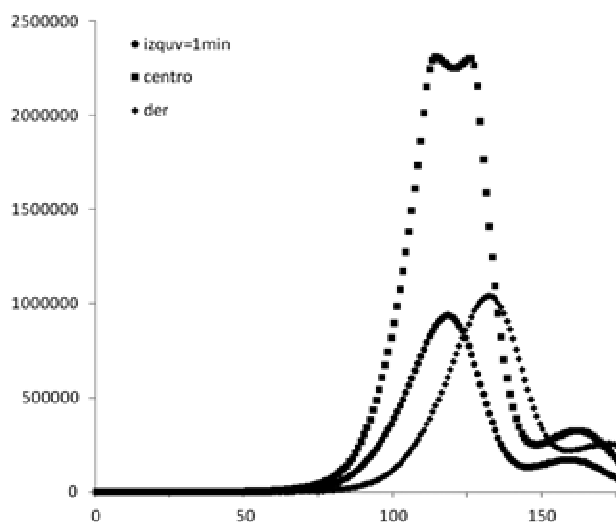


Figura 3. Curvas de TL del KCl:Eu2+. En esta curva únicamente nos interesa en forma relativa cuál región del tubo (asociada a la posición de la muestra) produce mayor radiación UV y las secciones en que ésta es homogénea.





La distancia de las muestras a la lámpara y el tiempo de exposición permiten controlar la dosis, se espera que realizando varios experimentos según el material biológico expuesto, se encontrará la dosis óptima. Un comportamiento es un decremento exponencial de la población microbiana en función de la dosis.

Para experimentar con el prototipo como una cámara de esterilización, se adecuó el programa de cómputo a un modelo de decaimiento exponencial, el cual toma en cuenta un factor de sobrevivencia que determina el porcentaje de agentes patógenos vivos con respecto al tiempo de exposición que depende de la sensibilidad del microorganismo (3)

De los dos candidatos a irradiar para realizar el estudio preliminar, la moringa y el frijol germinado, se decide trabajar en detalle con muestras de frijol germinado, el cual se consigue fresco diariamente, en varias tiendas de abastos alimenticios de la ciudad.

En lo que sigue, mencionamos reiteradamente a la moringa como una de las muestras candidatas a estudiar, pero los resultados que se presentan aquí son únicamente para el frijol germinado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Además de las aplicaciones mencionadas al inicio, el prototipo o cámara de irradiación UV portátil también es útil para realizar investigación de interés en el tema de preservación de alimentos. Irradiar con gammas es un método muy seguro (4), pero menos accesible y más costoso que irradiar con UV-C. Con esta idea se realizó un experimento preliminar, en el que se determinó la Cuenta Total de Mesófilos Aerobios de dos muestras de frijol germinado (*Mungus alubia*): uno irradiado con UV-C a una dosis de 30 (μW*s)/cm^2 y la otra sin irradiar. Antes de someter a irradiación las muestras, se realizó un tratamiento térmico para disminuir en lo posible la humedad natural del material.

En la figura 4 mostramos la fotografía de una muestra de frijol germinado y en la figura 5 su colocación en la cámara de irradiación. En forma parecida se colocaron hojas secas de moringa *oleífera*. En ambas muestras biológicas, en las mediciones iniciales antes y después de irradiar, hubo un comportamiento equivalente en la inhibición de las bacterias.



Figura 4. Cepa de frijol germinado colocada en caja de Petri lista para ser irradiada.

Tanto el frijol germinado como la moringa se cultivan en Sonora. Esta última es muy utilizada para fabricar medicinas naturistas, por sus propiedades medicinales.

En la figura 5 se puede apreciar en la parte superior la alargada lámpara fluorescente de UV-C y abajo las cajas de Petri con las muestras biológicas de frijol germinado, útil como alimento consumible comercialmente.



Figura 5. Muestras colocadas en la cámara germicida. Las irradiaciones y el conteo de bacterias por métodos químicos se hicieron en las muestras de los extremos, dónde la irradiación es homogénea.

En la figura 6 se aprecia una planta de moringa, una de sus variedades se cultiva en el sur de Sonora. Los efectos de la UV sobre este vegetal es potencial tema de estudio.



Figura 6. Planta de moringa *oleífera*.

En una primera irradiación se encontró una reducción del 95% en la población microbiana en el producto irradiado (frijol o moringa) en comparación con el producto sin irradiar, por lo que este resultado abre la posibilidad de continuar esta línea de investigación en forma detallada y ésta se inicia con el frijol germinado o mungo. A continuación resultados preliminares:

La tabla 1 muestra la actividad antimicrobiana de radiación UV-C en frijol germinado mungo a diferentes dosis, las ufc/g son unidades formadoras de colonias por gramo de muestra de base seca. Tiempo (días). La intensidad de la lámpara es un referente, a partir del cual, se obtiene con el programa de computo las dosis a que están expuestas las muestras, según su colocación o distancia respecto a las regiones homogéneas de la lámpara elegida (derecha e izquierda).



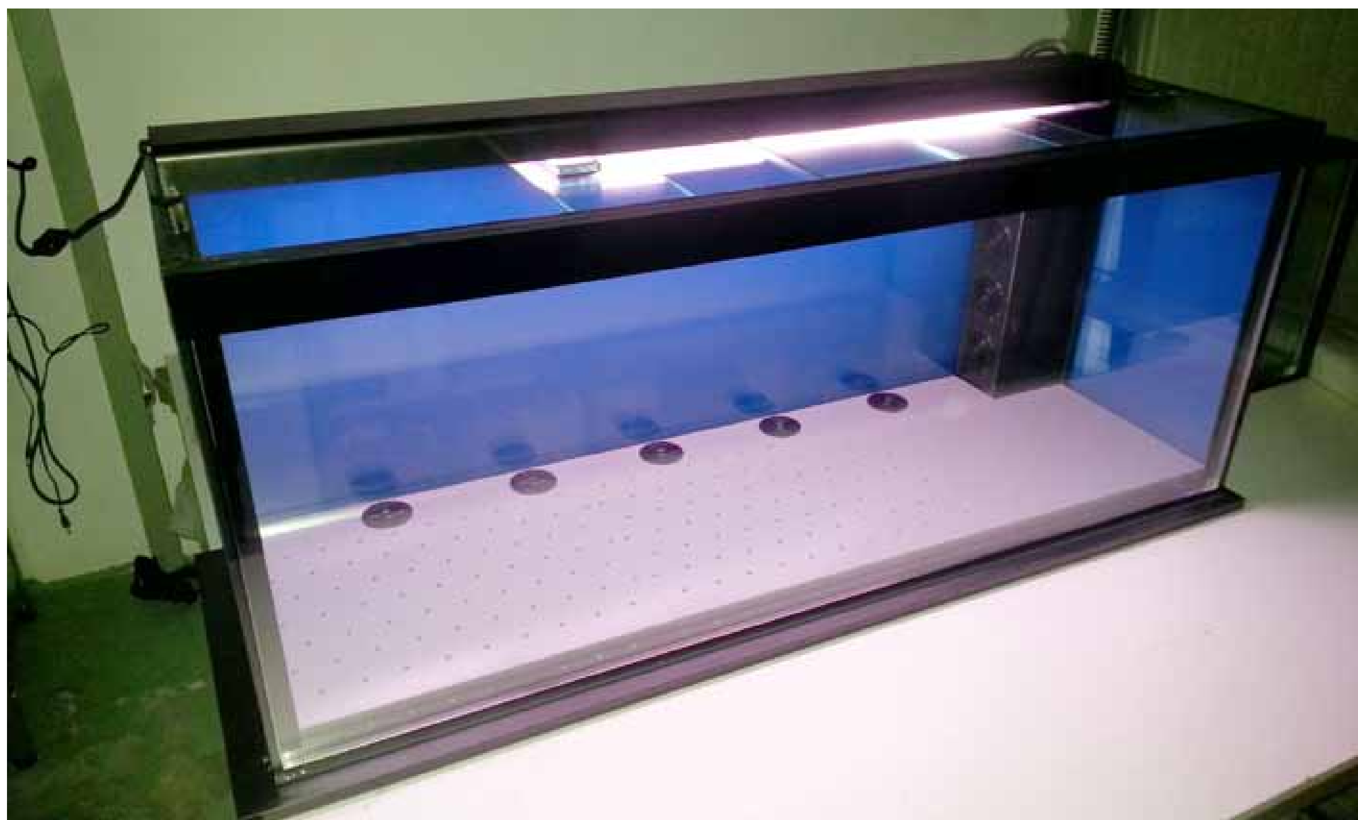


Tabla 1. Actividad antimicrobiana de radiación UV-C en frijol germinado a diferentes dosis.

Almacenamiento (días) a 8 ºC						
Dosis	Cero	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Cinco
(µW*s)/cm^2	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g	ufc/g
Control	3.78E+06	5.65E+06	5.57E+06	5.62E+06	7.60E+06	5.30E+06
1	5.29E+06	3.20E+06	4.52E+06	8.71E+06	7.01E+06	3.81E+06
3	3.00E+06	1.14E+06	6.28E+06	1.06E+07	4.02E+06	3.30E+06
2	4.55E+06	5.07E+06	4.35E+06	1.28E+07	1.24E+07	1.05E+07

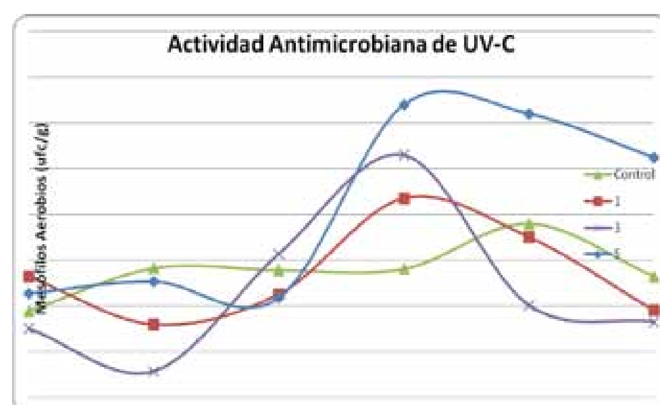


Figura 7. Comportamiento de la población microbiana en el tiempo a distintas dosis. El eje X subdividido en cinco partes iguales, son los días de almacenamiento (5); el eje Y son los ufc/g.

La evaluación de la actividad antimicrobiana de la radiación UV-C en frijol germinado se realizó en el laboratorio de Microbiología y Micotoxinas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos DIPA de la Universidad de Sonora, mediante la prueba de Mesófilos Aerobios, utilizando la Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994 (5), la cual refleja el contenido microbiano de materiales crudos e ingredientes, la eficiencia del procedimiento de elaboración/proceso, la condición de higiene del equipo y utensilios y la relación tiempo-temperatura de almacenamiento y la distribución (6).

De la tabla 1 y de la figura 7 se observa que:

No hubo un efecto antimicrobiano para ninguna de las dosis de radiación utilizado, por eso se observan niveles de microorganismos similares para todos los tratamientos en el día cero.

Hubo ligera reducción en la población microbiológica al primer día de almacenamiento, sobre todo en las dosis 1 y 3.

Tanto el control como la dosis 5 presentaron un ligero incremento, pero permanecen relativamente constantes hasta el día dos.

En el segundo día de almacenamiento la población microbiológica fue muy similar para todos los tratamientos (promedio: 5.18E+06). Aunque los niveles no disminuyeron, respecto al día cero, al menos se mantuvieron constantes.

A partir del día 3, todas las muestras irradiadas presentaron un incremento en los niveles de microorganismos debido posiblemente al binomio: condensación de humedad, a pesar de que las muestras estaban cubiertas con plástico con perforaciones y a alteraciones bioquímicas ocasionadas por el proceso de irradiación, las cuales podrían haber incrementado la disponibilidad de los nutrientes para el crecimiento de los microorganismos. En la gráfica se puede observar que a mayor dosis suministrada, mayor es el nivel de microorganismos en el día tres.

A partir del día 4 y hasta el 5, hubo un decaimiento en las poblaciones microbiológicas, sin embargo la dosis 5 sigue permaneciendo más alta. Como muchos fenómenos en la naturaleza que suben, tienen un máximo y después bajan, la dosis puede ser más eficiente (subir) y llegar a un valor optimo (el máximo), posteriormente mayor dosis da por resultado perdida de eficiencia (bajada). Esto puede deberse a que mayor dosis afecta el material biológico y se vuelve más vulnerable a los microorganismos. En este caso la dosis 1 puede ser la óptima o estar cercana a la óptima.

CONCLUSIONES

I. Los niveles de radiación UV-C utilizados aparentemente no ejercieron algún efecto antimicrobiano en las muestras.

II. Se presentó un efecto inhibidor del crecimiento microbiano por al menos 2 días de almacenamiento similar al presentado por la muestra sin irradiar, por lo que dicho efecto pudo haberse debido más bien a la temperatura de almacenamiento (8°C).

III. La muestra control permaneció relativamente estable durante los 5 días de almacenamiento, en cambio, las muestras irradiadas presentaron mucha inestabilidad, aunque los niveles al final del almacenamiento fueron muy similares a los del día cero. IV. La muestra 5, irradiada con la dosis más alta, presentó los mayores niveles de contaminación, sobre todo a partir del día tres y hasta el cinco, lo cual puede indicar afectación del material biológico de la muestra.

V. El comportamiento observado en la figura 7 es equivalente al observado en irradiación de espinacas por UV-C (7).

VI. La cámara germicida de bajo costo que se diseñó, tiene posibilidades de ser útil en investigación de inhibición de bacterias en material biológico, en particular con la muestra aquí estudiada, se pretende realizar más mediciones a las que se les aplicaría un análisis estadístico es la puerta a la investigación o utilizar las ideas expuestas (perfectibles) para la enseñanza.

El escrito únicamente tiene el propósito de difusión, no pretende ser un trabajo especializado.

En el tiempo transcurrido en el envío de este artículo y su aparición se realizó un estudio detallado que permitió la realización de una tesis de licenciatura (8).

*IN MEMORIAN. Dedicamos este trabajo a nuestro querido colega Gustavo Vázquez-Polo, quien falleció inesperadamente por lo que no se tuvo la oportunidad de terminarlo con su participación (Q.E.P.D.).

BIBLIOGRAFÍA

1) Abshire, R.L., Dunton, H. (1981). Resistance of selected strains of Pseudomonas aeruginosa to low-intensity ultraviolet radiation. *Applied Environmental Microbiology*, 41 (6), 1419-23.
2) Rodríguez Mijangos, R. and Pérez Salas, R. (2007). Ion size effect on the glow peak temperature in europium mixed crystals, *Physica Status Solidi* (c), 4, 954-958.
3) Kowalski, W. J., Banhfleth, W. P., Witham, D. L., Severin P. F., Whittham, T. S. (2000). Mathematical modeling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection, *Quantitative Microbiology* 2, 249-270.
4) Cruz Zaragoza, E., Ruiz Gurrola, B., Wacher, C., Flores Espinosa, T., Barboza-Flores, M. (2011). Gamma radiation effects in coriander for consumption in Mexico, *Rev. Mex. de Física*, S57, 80-85.
5) *Diario Oficial de la Federación*. Sufragio Efectivo. No Reelección (1995). México, D.F., a 10 de noviembre de 1995.
6) Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, ANMAT (2003). Guía de Interpretación de Resultados Microbiológicos de Alimentos, en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/Guia_de_interpretacion_resultados_microbiologicos.pdf
7) Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., Artés, F. (2010). UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach, *Postharvest Biology and Technology* 56, 223-231.
8) García Romo, J. S. (2013). Irradiación con Luz UV-C como Método de Desinfección de Germinados de Frijol Mungo (Vigna radiata). *Tesis profesional*. Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad de Sonora.



ALFABETIZACIÓN AMBIENTAL EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA

MARCO ALBERTO A LA TORRE ISLAS*,
ANDREA ZAVALA REYNA, JUANA ALVARADO IBARRA

RESUMEN

La presente investigación muestra el nivel de alfabetización ambiental de los alumnos de la División de Ingeniería de la Universidad de Sonora en cuanto a las variables: actitud ambiental, conducta ambiental y conocimiento ambiental, derivados de la aplicación de un instrumento de investigación diseñado por el Centro de Educación Ambiental en Wisconsin (WCEE), E.U.A. de ingeniería es bajo (58.79%); mientras que el análisis por componentes ambientales, indica que el nivel de actitud ambiental fue de 71.76%; en cambio en conducta ambiental y conocimiento ambiental se obtuvieron valores promedio de 47.69% y 56.92% respectivamente. Asimismo, se muestra el análisis de los resultados por género.

ABSTRACT

This research shows the level of environmental literacy of students in the Engineering Division of the University of Sonora in terms of environmental attitudes, environmental behavior and environmental knowledge, results obtained through the application of a data collection instrument designed by the Wisconsin Center for Environmental Education (WCEE), E.U.A. Results demonstrate that the level of environmental literacy in students is low (58.79%); in so far as environmental analysis components, the level of environmental attitude was 71.76%; as to the results of environmental behavior and environmental knowledge was obtained a mean value of 47.69% and 56.92% respectively. Also,it is shown the results obtained by gender.

I.I.S. MARCO ALBERTO A LA TORRE ISLAS
Posgrado en Sustentabilidad,
Universidad de Sonora
Correo: beto180588@hotmail.com

DRA. ANDREA ZAVALA REYNA
Posgrado de Sustentabilidad,
Universidad de Sonora
Correo: azavala@industrial.uson.mx

DRA. JUANA ALVARADO IBARRA
Posgrado de Sustentabilidad,
Universidad de Sonora
Correo: jalvarado@polimeros.uson.mx

*Autor para correspondencia: Marco Alberto A la Torre Islas
Correo electrónico: beto180588@hotmail.com
Recibido: 14 de marzo de 2014
Aceptado: 12 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530







INTRODUCCIÓN

Actualmente la humanidad se encuentra bajo el llamado "dilema ambiental", el cual, según Owen (1), es resultado de cuatro factores principales: el rápido incremento de la población, la contaminación, el excesivo consumo de recursos y el gradual deterioro de una ética de la Tierra. Este dilema puede ser perfectamente manejable con la ayuda de la postura del desarrollo sustentable si se hacen compatibles las necesidades humanas con las de los ecosistemas (2) y tomando como primicia examinar con especial atención el modo en que la educación puede contribuir para alcanzar el desarrollo sustentable y mejorar las perspectivas de equidad y paz en el mundo (3). En este respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO),sostiene que la educación es esencial para alcanzar el desarrollo sustentable, debido a que ésta es crucial para que los líderes y ciudadanos del mañana desarrollen la habilidad de encontrar soluciones y crear nuevos senderos hacia un futuro mejor, razón por la cual en el año 2002 la Asamblea General de las Naciones Unidas creó el llamado Decenio de las Naciones Unidas sobre la Educación para el Desarrollo Sustentable (4), el cual reconoce la urgente necesidad de integrar los temas y los principios del desarrollo sustentable en la educación y el aprendizaje (5).



Para Bravo (6), la educación superior no está exenta de esta necesidad, por lo que debe contribuir reorientando el estilo de desarrollo hacia grados crecientes de sustentabilidad a través de su trabajo educativo. Como un resultado a esta demanda, gran cantidad de instituciones han incorporado la educación ambiental a su currículo, con la idea que el desarrollo de conocimientos y actitudes pro-ambientales permitirán formar ciudadanos preocupados por el impacto que tiene su comportamiento en el ambiente; no obstante, varios estudios han mostrado que no existe una relación directa entre el conocimiento, las actitudes y el comportamiento pro-ambiental o sustentable (7). En este contexto, Isaac-Márquez y colaboradores argumentan que para elevar el nivel de cultura ambiental de los jóvenes es necesario, en primera instancia, el reconocimiento de la educación ambiental como una prioridad por parte de todos los actores del sector educativo (8) y otorgarle más recursos, más infraestructura y que sea materia obligatoria en todos los niveles del sistema educativo formal, como eje transversal del conocimiento y en la forma de cursos curriculares específicos. Adicionalmente, la educación ambiental requiere de situaciones pedagógicas que vayan más allá de la simple transmisión - información, que comprendan las condiciones de sujeto pensante, afectivo, moral y estético, mediante las cuales se logre el desarrollo de un ser integral en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales (9), para esto se requiere que los alumnos cuenten con un grado de alfabetización ambiental; es decir, que cuenten con un conjunto de mecanismos cognitivos y afectivos en pro del cuidado del ambiente, entre los cuales destacan el definir, situar y reconocer los problemas y sus consecuencias, admitir que nos afectan, valorar nuestro papel como importante, desarrollar el deseo, sentir la necesidad de tomar parte de la solución y elegir las mejores estrategias con los recursos más idóneos (9). Además de actitud ambiental, la cual según Zimmerman se refiere al proceso

psico-socio-ambiental de evaluación del individuo frente al ambiente externo, con fines adaptativos y para la toma de decisiones en sus locomociones diarias (10); no obstante, no basta contar con actitud ambiental, sino que además es importante demostrar una conducta ambiental que se refiere a la acción que realiza una persona, ya sea de forma individual o en un escenario colectivo, a favor de la conservación de los recursos naturales y dirigida a obtener una mejor calidad del medio ambiente (11). Por último y de acuerdo a Febles, es necesario contar con conocimiento ambiental referido a la obtención, análisis y sistematización por parte del individuo de la información proveniente de su entorno, social por naturaleza. Éste constituye un paso importante para su comprensión a través de acciones concretas, que a su vez influyen en el desarrollo de estos conocimientos (12). Ante estos requerimientos de formación ambiental en los alumnos, es importante conocer el nivel de alfabetización ambiental de los estudiantes de la Universidad de Sonora, así como su nivel de conducta, actitud y conocimiento ambiental; a fin de conocer el impacto que ha tenido en ellos las acciones llevadas a cabo por la institución en los últimos años, sobre todo en la División de Ingeniería, donde desde el 2004 se imparte la materia sustentabilidad en las ingenierías a todos los alumnos.



Metodología

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que se generó información numérica mediante la medición de los niveles de actitudes, conductas y conocimientos hacia el medio ambiente, así como el nivel de alfabetización ambiental correspondiente en los estudiantes del sexto y octavo semestre de la División de Ingeniería del campus centro de la Universidad de Sonora.

Para la selección y tamaño de muestra se eligieron los alumnos inscritos en el semestre 2013-1 en los programas Ingeniería Civil, Ingeniería en Sistemas de Información, Ingeniería Industrial y de Sistemas, Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería en Minas e Ingeniería Química.

Con base en los datos proporcionados por la Dirección de Servicios Escolares de la Universidad de Sonora, en el ciclo 2013-1 se encontraban inscritos 1270 estudiantes en la División de Ingeniería. Para la obtención del tamaño de muestra del estudio se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 de muestreo aleatorio simple con población finita, con un nivel de confianza del 95%.

Ecuación 1:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} = \frac{1270\ (0.5)\ (0.5)}{(1270 - 1)\ (0.000625) + (0.5)\ (0.5)} = 305 \text{ Encuestas}$$

Ecuación 2:

$$D = \frac{B^2}{4} = (0.05)^2 / 4 = 0.000625$$

Donde:

Con 95% de confianza $p = 0.5$ (proporción)
$q = 0.5$
$B =$ (B es el error de 5%)
$B^2 = 0.05^2$
$N = 1270$ (Total de alumnos activos en el semestre 2013-1)

Posteriormente se aplicó muestreo estratificado por asignación proporcional, para tener una mayor confianza en que se incluyeran todas las ingenieras de interés en el estudio.

La ecuación 3 fue utilizada para el muestreo estratificado por asignación proporcional y los resultados se muestran en la tabla 1.

Ecuación 3:

$$n_i = n\ (N_i / N)$$

Donde:

$n =$ Total de estudiantes de ingeniería “x” activos en el ciclo 2013-1.
$n_i =$ Número de estudiantes de ingeniería “x” a aplicarse el instrumento.
$N =$ Total de estudiantes de la división de ingeniería activos en el ciclo 2013-1.
$N_i =$ Tamaño de muestra aleatorio simple obtenido de N.

Tabla 1.Tamaños de muestra para el estudio de alfabetización ambiental.

Programa Académico	Estudiantes que ingresaron en 2009-2 y 2010-2 avtivos al 2013-1	Tamaño de muestra
Ing. Civil	364	88
Ing. en Sistemas de Información	103	25
In. Industrial y de Sistemas	346	83
Ing. Mecatrónica	177	43
Ing. Minero	149	36
Ing. Química	127	30
Total de estudiantes	**1,270**	**305**

En la primera parte de la Encuesta de Nivel de Alfabetización Ambiental diseñada por el Centro de Educación Ambiental en Wisconsin (WCEE) de Estados Unidos Americanos (EUA), se encuentra un apartado que permite recolectar datos generales del encuestado (nivel académico, edad y género) y posteriormente se divide en tres secciones (A, B y C) referentes a actitudes ambientales, comportamientos ambientales y conocimientos ecológicos básicos.

Para responder las oraciones de la sección A de actitud ambiental, se emplea la escala de Likert: 1) Fuertemente de acuerdo, 2) De acuerdo, 3) Sin opinión, 4) Desacuerdo y 5) Fuertemente en desacuerdo.

La sección B de comportamiento ambiental, también se utilizó la escala de Likert con las siguientes opciones: 1) Siempre, 2) Casi siempre, 3) Algunas veces, 4) Casi nunca y 5) Nunca.

La sección C, de conocimientos, fue de opción múltiple con 4 posibles respuestas de las cuales solo una es la correcta.

Cada sección del cuestionario fue analizada por separado para obtener un índice de actitudes, conductas y conocimientos. Para tal efecto, se codificaron los valores de la escala de Likert, asignando un valor de 0 a la opción menos deseable y una puntuación de 4 a la más deseable desde el punto de vista ambiental. En el caso de la sección de conocimientos, se asignó un valor de 4 a la respuesta correcta y un valor de cero a las incorrectas. De esta manera el valor mínimo posible de cada sección es de cero y el máximo de 60.

Las puntuaciones obtenidas en cada sección fueron sumadas para obtener el nivel de alfabetización ambiental. Dichas puntuaciones fueron evaluadas utilizando una escala del calificación base 100, misma que se describe a continuación: de 90 a 100 es excelente, 80 a 89, es muy aceptable, de 70 a 79 es aceptable, de 60 a 69 es inaceptable y menos de 60 corresponde a un nivel bajo.

Para manipulación y análisis de datos se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel y el paquete estadístico SPSS versión 17.0.

RESULTADOS

Nivel de actitud ambiental

En la figura 1 se muestra el comportamiento estadístico de los resultados de los estudiantes encuestados en cuánto a la actitud ambiental. La media obtenida en el alumnado de ingeniería fue de 43.06 (71.76 %), y la desviación estándar resultó de 9.22, lo cual nos indica que los alumnos de Ingeniería de la UNISON tienen un nivel de actitud ambiental aceptable.



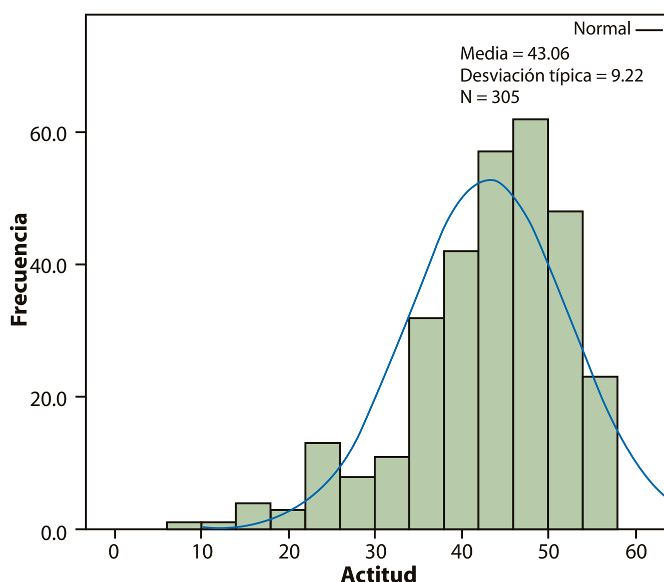


Figura 1. Nivel de actitud ambiental en estudiantes de ingeniería de la UNISON.

Nivel de conducta ambiental

En la figura 2 se presentan los resultados correspondientes a la determinación del nivel de conducta ambiental. La media obtenida en el estudio fue de 28.62 (47.69%), con una desviación estándar resultante de 12.33, lo cual indica un nivel de conducta ambiental bajo.

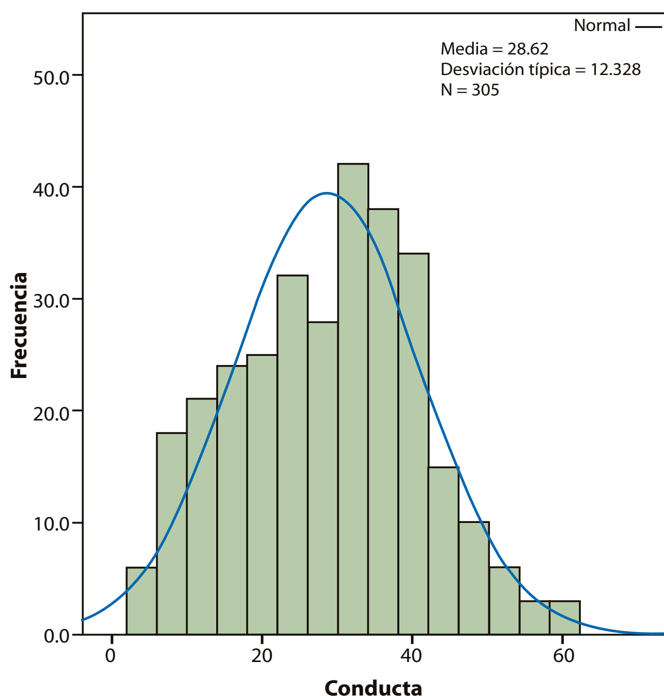


Figura 2. Nivel de conducta ambiental en estudiantes de ingeniería de la UNISON.



Nivel de conocimiento ambiental

La figura 3 muestra los resultados referentes al nivel de conocimiento ambiental. La media resultante en el estudio fue de 34.15 (56.92%), con una desviación estándar de 10.04, lo cual indica un nivel de conocimiento ambiental bajo.

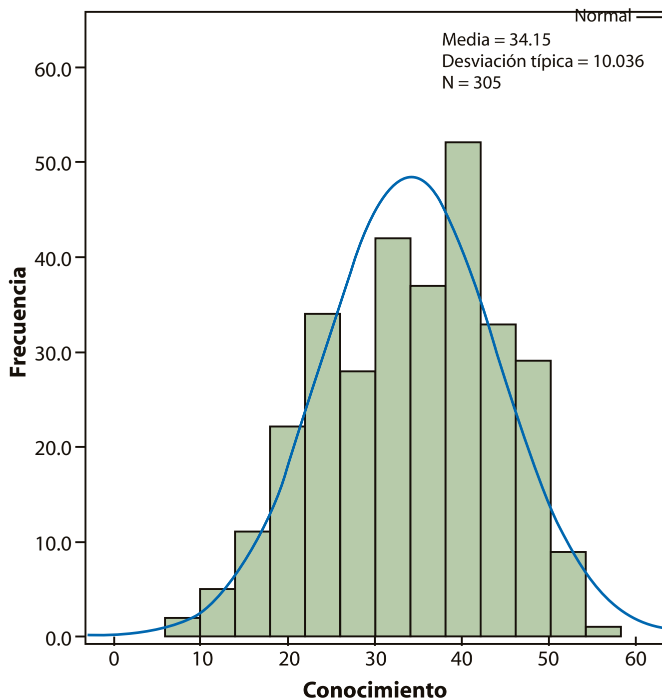


Figura 3. Nivel de conocimiento ambiental en estudiantes de ingeniería de la UNISON.

Nivel de alfabetización ambiental (integración de actitudes, conductas y conocimientos ambientales)

De manera conjunta, el nivel de Alfabetización Ambiental alcanzado por los estudiantes encuestados fue de 105.82 (58.79%), con una desviación estándar de 20.94. Lo anterior se presenta en la figura 4, lo cual indica que la Alfabetización Ambiental del alumnado se encuentra en el nivel bajo.

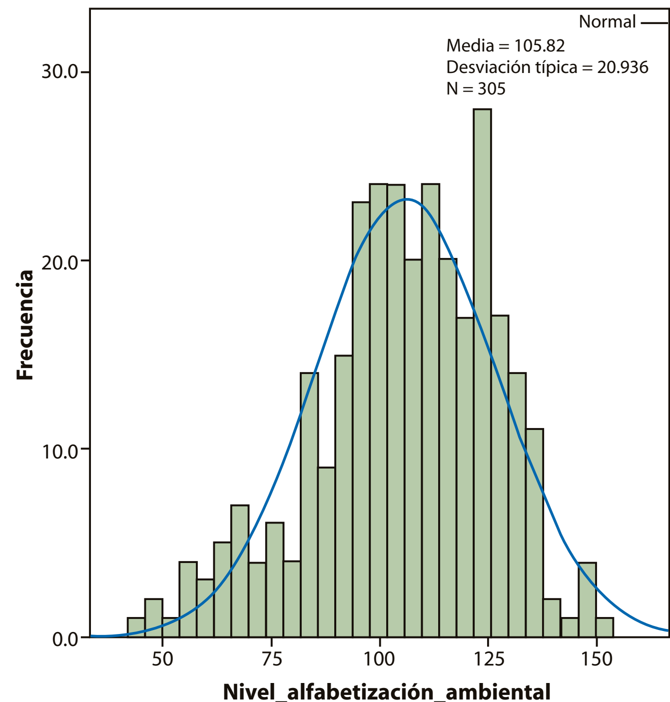


Figura 4. Nivel de alfabetización ambiental en estudiantes de ingeniería de la UNISON.





Correlación entre los componentes ambientales

Con respecto a la correlación de Pearson, se encontró que la relación entre el Conocimiento-Actitud fue de r= 0.069; lo cual indica una relación positiva débil.

En cuanto a la Actitud-Conducta, fue r= 0.343; ésta revela una relación significativa entre las dos variables. Finalmente, el nivel de correlación entre Conocimiento-Conducta, fue r= 0.040; esto revela una relación positiva débil, estos resultados pueden apreciarse en la tabla 2.

Tabla 2. Niveles de correlación entre los componentes ambientales.

		Actitud	Conducta	Conocimiento
Actutud	Correlación de Pearson	1	0.343**	0.69
	Sig. (bilateral)		0	0.232
	N	305	305	305
Conducta	Correlación de Pearson	0.343**	1	0.04
	Sig. (bilateral)	0		0.488
	N	305	305	305
Conocimiento	Correlación de Pearson	0.069	0.04	4
	Sig. (bilateral)	0.232	0.488	0
	N	305	305	305

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Análisis de la variable género

A efectos de conocer los niveles de alfabetización ambiental y sus componentes de actitud, conducta y conocimiento ambiental por género, la tabla 3 muestra los resultados por estos conceptos, donde el género femenino presentó un nivel de alfabetización ambiental de un 105.94 (58.86%) y el género masculino obtuvo 105.76 (58.76%), lo cual significa que ambos géneros presentan un nivel de alfabetización bajo. Asimismo, se realizó un análisis de los componentes de forma separada, encontrándose que en la variable Actitud, el género femenino obtuvo una puntuación media de 45.52 (75.87%), lo cual significa un nivel de alfabetización aceptable; no así el género masculino, que obtuvo una puntuación media de 41.76 (69.60%), que significa un nivel de alfabetización inaceptable.

En cuanto a la variable de conducta, ambos géneros obtuvieron un nivel bajo, al obtener el género femenino una media de 27.05 (45.08%) y el género masculino, 29.44 (49.07%).

En lo que respecta a la sección de Conocimiento, el género femenino también obtuvo un nivel bajo con una media de 33.37 (55.62%), al igual que el género masculino, que obtuvo una puntuación media de 34.56 (57.60 %).

Tabla 3. Resultados de los componentes ambientales por género.

Género	Actitud	Conducta	Conocimiento	Nivel de alfabetización
Femenino	75.87 %	45.08 %	55.62 %	58.86 %
	Aceptable	Bajo	Bajo	Bajo
Masculino	69.60 %	49.07 %	57.60 %	58.76 %
	Inaceptable	Bajo	Bajo	Bajo

DISCUSIÓN

El instrumento de alfabetización ambiental empleado en la presente investigación ha sido utilizado anteriormente por diversos investigadores, tal es el caso de Courtney (13) con los estudiantes de la Universidad de Florida, así como Montaño y colaboradores (2012) en los estudiantes de ingeniería en ciencias ambientales del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) (14). La tabla 4, muestra una comparativa de los resultados obtenidos entre esas instituciones y la Universidad de Sonora, donde destaca el hecho de que los alumnos de ingeniería no obtuvieron un nivel inaceptable en ninguna de las variables analizadas, a pesar de no tratarse de programas netamente ambientales, como en el caso del ITSON.

Tabla 4. Comparación de estudios respecto a las variables Actitud, Conducta, Conocimiento y Alfabetización ambiental.

	Nivel de Actitud	Nivel de Conducta	Nivel de Conocimiento	Nivel de alfabetización ambiental
Estudiantes de Universidad de Florida	70.5 %	39.0 %	65.5 %	58.3 %
	Aceptable	Nivel Bajo	Nivel Aceptable	Nivel Bajo
Estudiantes ICA de ITSON	77.83 %	68.51 %	63.81 %	70.08 %
	Aceptable	Nivel Inaceptable	Nivel Inaceptable	Nivel Aceptable
Estudiantes Ingeniería UNISON	71.76 %	47.69 %	56.92 %	58.79 %
	Aceptable	Nivel Bajo	Nivel Bajo	Nivel Bajo

Por último, en la tabla 5 se presenta una comparación de los 3 estudios mencionados con respecto al género de los alumnos encuestados. Los resultados de Courtney (13) en la Universidad de Florida son muy similares a los del alumnado de ingeniería de la Universidad de Sonora; mientras que los estudiantes, tanto hombres como mujeres de ingeniería en ciencias ambientales de ITSON (14) resultaron con un nivel de alfabetización ambiental superior.

Tabla 5. Comparación de los estudios respecto a la variable género.

	Mujeres	Nivel de alfabetización	Hombres	Nivel de alfabetización
Estudiantes de Universidad de Florida	58.60 %	Bajo	58.12 %	Bajo
Estudiantes ICA de ITSON	70.83 %	Aceptable	69.41 %	Inaceptable
Estudiantes Ingeniería UNISON	58.86 %	Bajo	58.76 %	Bajo

CONCLUSIONES

La aplicación del instrumento de investigación diseñado por el Centro de Educación Ambiental en Wisconsin (WCEE), EUA, ha servido para conocer el nivel de alfabetización ambiental en los estudiantes de sexto y octavo semestre de los programas de ingeniería de la Universidad de Sonora es bajo (58.79%). El análisis por componentes nos permitió conocer que los alumnos



cuentan con un nivel de actitud aceptable (71.76%), pero obtuvieron niveles bajo para las variables de conducta y conocimientos ambientales, como fueron 47.69% y 56.92% respectivamente.



Por lo anterior, se concluye que la asignatura de "Sustentabilidad en las ingenierías" y otras relacionadas han contribuido de manera positiva en la actitud de los estudiantes de ingeniería hacia el cuidado del medio ambiente, sobre todo porque, a diferencia del estudio realizado en el ITSON, los alumnos no son especialistas en el área ambiental. Sin embargo, a pesar de que las asignaturas relacionadas han contribuido a la formación de los estudiantes en esta área, la impartición de asignaturas no es suficiente y se requiere de una formación holística en los estudiantes en dónde se debe ofrecer una formación académica de calidad que incluya tópicos ambientales, también se les deben inculcar valores a través de su participación en proyectos dentro y fuera del campus, que les muestren la realidad que vivimos en términos de la situación ambiental, a fin de que sean personas y profesionistas respetuosos de su entorno que coadyuven a la sociedad en sus transición a estilos de vida más sustentables.

BIBLIOGRAFÍA

1) Owen, O. (2000). Recursos naturales. (e-book) Nueva York: The Macmillan Company. Disponible en: Google Books http://books.google.es/books?id=0Z_KmG0yOvEC&pg=PA1&dq=dilema+ambiental&hl=es&sa=X&ei=tXvoUZX_BJPQ8wTdu4FI&ved=0CDsQ6AEwAg (Accesado 23 de Junio del 2013)
2) Corral, V. (2010). Psicología de la sustentabilidad. Hermosillo: Universidad de Sonora. Editorial Trillas, ISBN
3) Macedo, B., y Salgado, C. (2007). Educación ambiental y educación para el desarrollo sostenible en América Latina, Forum de sostenibilidad (online) Disponible en: http://www.ehu.es/cdsea/web/revista/numero_1/01_03macedo.pdf (Accesado 3 de Julio del 2013)
4) UNGS (2005). United Nations Decade of Education for Sustainable Development. UN, A/RES/59/237
5) UNESCO (2005). International implementation scheme for the UN decade of education for sustainable development (2005-2014). UNESCO International Science, Technology & Environmental Education Newsletter, 30, 1-1.
6) Bravo, M.M.T. (2012). La UNAM y sus procesos de ambientalización curricular. *Revista Mexicana de Investigación Educativa, 17, 1119-1146.*
7) Escobar, M.S. (2012). Comportamiento sustentable y educación ambiental: una visión desde las prácticas culturales. *Revista Latinoamericana de Psicología, 44, 181-196.*
8) Vega, M. P. y Álvarez, S.P. (2005). Planteamiento de un marco teórico de la educación ambiental para un desarrollo sostenible. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 4 (1).
9) Isaac-Márquez, R., Salavarría, O., Eastmond, A., Ayala, M., Arteaga, M., Isaac-Márquez, A., Sandoval, V., Manzanero, A. (2011). Cultura ambiental en estudiantes de bachillerato. Estudio de caso de la educación ambiental en el nivel medio superior de Campeche. *Revista Electrónica de Investigación Educativa, 13(2), 83-98.*
10) Serna, R.A. (2007). El derecho a un ambiente sano y la pedagogía ambiental. *Revista El Ágora USB, 7, 345-359.*
11) Zimmermann, M. (2005). *Ecopedagogía: el planeta en emergencia*. Bogotá: Ecoe ediciones.
12) Puertas, V. S. y Aguilar L. M. C. (2008). Psicología ambiental. Departamento de Psicología. Universidad de Jaén. Recuperado de http://www4.ujaen.es/~spuertas/Private/Tema%209.pdf
13) Febles, M. (2001). Bases para una Psicología Ambiental en Cuba. Facultad de Psicología. Universidad de La Habana.
14) Courtney, N. (2002). *An analysis of the correlations between the Attitude, Behavior, and knowledge, components of Environmental Literacy in undergraduate university students*. Recuperado de http://ufdc.ufl.edu/UF00100691/00001
15) Montaño S., Cervantes B., Gutiérrez C., Zarate O. (2012). Alfabetización Ambiental en estudiantes de ingeniería en ciencias ambientales del Instituto Tecnológico de Sonora, *Revista Desarrollo Local Sostenible.* Obtenido en Noviembre 5, 2013, de http://www.eumed.net/rev/delos/14/sbco.pdf



FACTORES RELEVANTES DE LA COMPLEJIDAD EN EL PROCESO DE REMANUFACTURA: CASO DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA

KARINA CECILIA ARREDONDO SOTO*, ENRIQUETA SALAZAR RUÍZ,
TERESA CARRILLO GUTIÉRREZ, MARCELA SOLÍS QUINTEROS

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un proyecto realizado en el sector de remanufactura, abordando la gestión de la complejidad. El objetivo de la investigación es identificar los factores que crean complejidad en el proceso de producción. El grado de complejidad asociado a los procesos de remanufactura es superior que en la manufactura convencional. El estudio se realiza en la frontera norte de México analizando las prácticas de tres compañías del área metalmecánica y aplica una metodología alemana para la identificación de las características más importantes y efectos de la complejidad. Los resultados permiten seleccionar los factores relevantes de complejidad que intervienen y que pueden ser controlados por tomadores de decisiones para mejorar los indicadores de desempeño en el sector industrial remanufacturero.

M.I.I. KARINA CECILIA ARREDONDO SOTO
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: karina.arredondo@uabc.edu.mx
M.C.I. TERESA CARRILLO GUTIÉRREZ
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: tcarrillo@uabc.edu.mx

DRA. ENRIQUETA SALAZAR RUÍZ
Instituto Tecnológico de Mexicali,
Correo: esalazar@itmexicali.edu.mx
M.C.A. MARCELA SOLÍS QUINTEROS
Universidad Autónoma de Baja California
Correo: marcela.solis@uabc.edu.mx

*Autor para correspondencia: Karina Cecilia Arredondo Soto
Correo electrónico: karina.arredondo@uabc.edu.mx
Recibido: 14 de marzo de 2013
Aceptado: 05 de mayo de 2014
ISSN: 2007-4530



INTRODUCCIÓN

Entendiendo como complejidad el nivel de variación en el número de elementos y las relaciones existentes entre éstos en un sistema, se tiene que en México los estudios sobre complejidad asociada a sistemas productivos existen, pero son escasos. De lo que prácticamente no se ha encontrado evidencia es de investigaciones que asocien la complejidad específicamente con remanufactura. Por lo que se puede asumir que existe una debilidad general para reconocer y controlar la complejidad y sus efectos desde el enfoque de la Teoría de la Complejidad en el sector industrial tanto de manufactura como el de remanufactura.

Sin embargo, esto no significa que el análisis de la complejidad en manufactura no sea importante. Por ejemplo, la filosofía de Manufactura esbelta reconoce el impacto de la complejidad y se ha centrado en la simplificación del sistema de manufactura. Las organizaciones que adoptan la filosofía mencionada están, en parte, tratando de reducir la complejidad en sus procesos. La simplificación de productos y la manufactura celular han sido asociadas a la reducción de la Complejidad y la variación, las cuales pertenecen al área de la administración de operaciones. Garbie y Shikdar (1) afirman que la complejidad ha empezado a considerarse como una nueva forma de evaluación de las empresas industriales, siendo además una de las herramientas útiles para el análisis de mejoras y la reestructuración empresarial.

Alemania es un país pionero en la generación y aplicación de técnicas de análisis de complejidad en el sector remanufacturador y sus compañías identifican los efectos negativos de la presencia de altos niveles de complejidad y en su incremento no controlado. Adicionalmente; de acuerdo al estudio Control de la complejidad (del inglés, Mastering complexity) (2), se ha detectado que aproximadamente el 6% de la compañías estudiadas afirmaron que aplican apropiadamente instrumentos para su control. Por lo tanto y tomando en cuenta los estudios previos mencionados, el presente trabajo muestra los resultados del diagnóstico de tres empresas del área metalmecánica y de remanufactura, que se espera sea de utilidad para ayudar a introducir en México las técnicas de gestión de la complejidad desarrolladas por la Universidad de Bayreuth, en Alemania (3, 4).

ANTECEDENTES

La remanufactura es un proceso que permite recuperar componentes que antes habrían sido considerados como desecho, pero que ahora se aprovechan en la fabricación de productos con la misma garantía que los nuevos. La remanufactura como estrategia de fin de vida presenta mayor recuperación de componentes, conserva su geometría original y mantiene precios entre veinte y ochenta por ciento más económicos que los productos nuevos (5). Las condiciones actuales del mercado han orillado a las empresas a considerar la remanufactura como una opción, no solo para el planeta, sino para el desarrollo de su negocio y de ser competitivos, manteniendo precios más bajos. El producto recolectado al que se le realiza la remanufactura se le llama core (en español núcleo). El proceso de remanufactura incluye operaciones de limpieza, desmontaje, inspección, reacondicionamiento o reparación y montaje. La figura 1 muestra la secuencia común en los procesos de remanufactura.

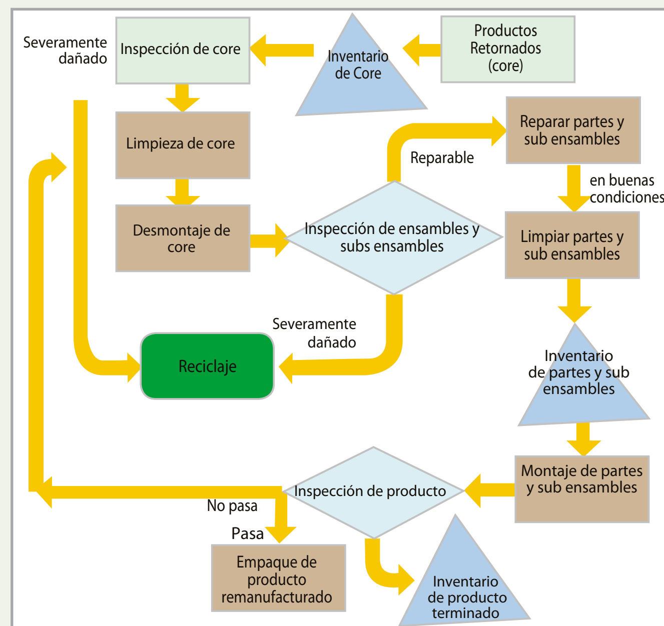


Figura 1. Operaciones del proceso de remanufactura (Fuente propia).

Actualmente, muchos de los productos que son remanufacturados no fueron diseñados para tener una segunda vida útil y existe un desconocimiento general de las herramientas que facilitarían el control del proceso, por lo que éste se vuelve complejo. Éstos son sólo dos de los factores que influyen en el aumento de la complejidad del proceso de remanufactura.

Normalmente el término “complejo” se aplica a todo aquello que no se comporta de manera fácil de entender, por lo tanto es un concepto difícil de definir. Simon (6) define complejidad diciendo que un sistema complejo tiene una gran cantidad de variables, cuyas relaciones no son simples. En el estudio de la complejidad deben considerarse la cantidad y diversidad de elementos y las relaciones existentes entre estos. Existen diferentes tipos de complejidad considerando su relación con la empresa, su dependencia del tiempo y con respecto a su comportamiento asociado. Las generalidades de la complejidad se muestran en la figura 2. En el caso de estudio se considera la complejidad estática (también llamada complejidad estructural) interna en relación a las empresas.

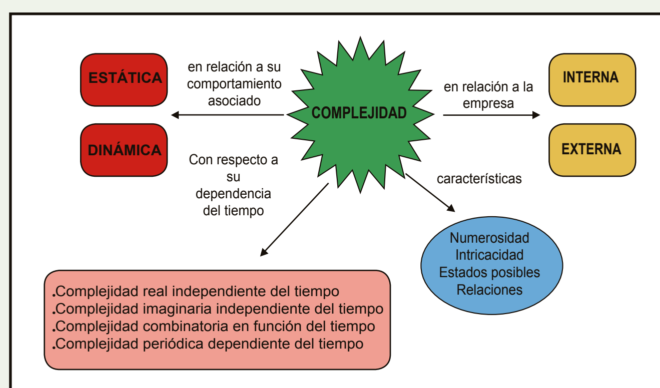


Figura 2. Generalidades de la complejidad (Fuente propia).

Los expertos afirman que existen tres estrategias principales para combatir los efectos negativos de la complejidad: evitarla, reducirla o controlarla (7). Estudios de Bick y Drexl-Wittbecker (7) afirman que el 25% de los costos totales de las compañías manufactureras se deben a la complejidad relacionada con el producto y el proceso. Se requiere un conocimiento objetivo de los efectos negativos de la complejidad y en qué áreas se genera. Dos grandes áreas de oportunidad son el producto y el proceso de producción, en las cuales se pueden considerar elementos como el tiempo, los costos y la calidad.

En relación a remanufactura, Lundmark y Sundin (8) encontraron que la incertidumbre y la complejidad son los factores más difíciles que deben abordarse en futuras investigaciones. Sin embargo, no se ha encontrado el desarrollo de un enfoque para la gestión de la complejidad específica a las necesidades de la industria de la remanufactura, salvo el propuesto por el grupo de investigadores de la Universidad de Bayreuth en Alemania, tampoco se ha encontrado evidencia de que las empresas mexicanas conozcan dicho enfoque. Por lo tanto, la propuesta para la introducción de una nueva metodología para la gestión de la complejidad en las empresas remanufactureras del norte del país, busca reducir esta brecha existente. En este enfoque, es necesario tener en cuenta las diferentes características de la empresa como: su tamaño, tipo, variedad y tamaño del producto, el tipo de producción, debido a que diferentes configuraciones requieren distintas soluciones y limitan la aplicación de ciertos métodos. Este estudio muestra un enfoque para gestionar la complejidad del proceso identificando los factores relevantes asociados y los efectos identificados, que inciden en los indicadores de desempeño. El análisis de los resultados apoya a los administradores de las empresas para tomar decisiones tendientes a reducir o controlar los niveles de complejidad.





METODOLOGÍA

El estudio aplica la metodología para análisis de la complejidad de empresas remanufacturadoras de la Universidad de Bayreuth. La recolección de datos se generó mediante la aplicación de cuestionarios y análisis de los datos de las tres compañías participantes, las cuales se denominan como empresa X, Y y Z respectivamente por acuerdos de confidencialidad solicitados por las mismas, a fin de hacer públicos los resultados del estudio. El primer paso consistió en recabar las características de cada una de las empresas, como: la cantidad de empleados directos en producción, la variedad de productos fabricados, el tipo de componentes utilizados, si su producción es continua, el tamaño de los lotes, si sus productos se recuperan en forma continua, si su proceso utiliza secuencias repetitivas, la cantidad de clientes y la utilización o no de un paquete computacional para la planeación y control de la producción.

En segundo lugar, se analizan los efectos que se producen por el incremento de la complejidad en cada una de las compañías, mediante entrevistas a expertos de las empresas incluidas en el estudio. Después de la identificación y análisis de los efectos se realizó una sesión de lluvia de ideas y un análisis causa-efecto para determinar los métodos que sirven para contrarrestar cada uno de los efectos generados por la complejidad del proceso.

Posteriormente se identifican los factores que inciden en la variabilidad del proceso y por ende del producto, aportando complejidad. Considerando los factores desde diferentes enfoques: a) de la administración del core, b) identificación del proceso-producto, c) área de planeación y control, y d) organización de la producción, considerando los factores de manera integral.

Finalmente, se identifican los factores de desempeño clave que debe considerar de manera particular cada compañía en su esfuerzo por gestionar la complejidad. Estos se determinan considerando los factores y efectos de la complejidad encontrados con anterioridad en el estudio.

RESULTADO

En primera instancia se identificaron las características de las tres empresas objeto de estudio, las cuales son diferentes entre sí, en aspectos como el tamaño, cantidad de productos que fabrican, tipo de componentes y respecto al uso de un sistema computacional para la planeación y control de la producción. La tabla 1 muestra a detalle sus características.

Tabla 1. Características de las empresas objeto de estudio.

Características de la empresa	X	Y	Z
Número de empleados en producción	< 10	> 500	> 500
Diferentes tipos de productos terminados	< 100 productos terminados	> 100 productos terminados	> 100 productos terminados
¿La producción involucra más de uno de los siguientes tipos de componentes: mecánico, electrónico y/o mecatrónico?	Solo componentes mecánicos	Solo componentes mecánicos	Componentes Mecánicos y electrónicos
¿Es una línea de producción continua en su proceso de fabricación?	No	No	No
¿Diferentes tamaños de lote de los productos terminados?	Sí	Sí	Sí
¿Tiene productos que se recuperan en forma continua?	No	Sí	Sí
¿Es su producción un proceso de pasos repetitivos?	Sí	Sí	Sí
Cantidad de clientes	> 10	> 10	> 10
¿Utiliza un programa computacional para la planeación y control de la producción?	No	Sí	Sí

En segundo lugar, al aplicar el análisis con expertos se determinaron los efectos que se producen por el incremento de la complejidad en cada una de las compañías estudiadas, los cuales se encuentran enlistados en la tabla 2. Estos efectos se identificaron mediante entrevistas con ingenieros y trabajadores con experiencia mayor a 10 años de cada una de las empresas seleccionadas. En el caso de las empresas Y y Z, por ser compañías de más de 500 empleados y tener áreas múltiples, fue seleccionada solo una familia de productos para el estudio de cada una.





Tabla 2. Efectos de la complejidad en las diferentes tipos de compañías remanufacturadoras analizadas.

Efectos de la complejidad en la empresa		
X	Y	Z
• Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • No se aplica la estandarización • Necesidad de capacitación continua • Sobrecapacidad en algunas áreas • Difícil rastreabilidad de los productos • Ordenes de producción pequeñas • Muchas instrucciones de trabajo • Compleja administración del conocimiento • Core dañado en el almacenaje y manejo	• Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • Cuellos de botella en algunas áreas • Tiempos de entrega largos • Incremento del esfuerzo en la adquisición de datos • Sobrecapacidad en algunas áreas • Baja utilización de las estaciones de trabajo y maquinaria • Manejo de materiales diferenciado • Esfuerzos intensivos en la capacitación a los empleados • Esfuerzo mayor en las búsquedas • Requerimientos elevados de espacio • Esfuerzos elevados en la administración y mantenimiento de las bases de datos • Compleja administración del conocimiento • Muchas instrucciones de trabajo • Variación en el tamaño de las ordenes • Diferentes flujos de materiales • Pérdida de tiempo, ineficiencia de los procesos	• Se requiere una amplia gama de habilidades • Se requiere experiencia basada en conocimiento • Cuellos de botella en algunas áreas • Manejo de materiales diferenciado • Esfuerzos intensivos en la capacitación a los empleados • La secuencia de producción no puede ser predicha con seguridad • Compleja administración del conocimiento • Muchas instrucciones de trabajo • Pérdida de tiempo, ineficiencia de los procesos • Variación en el tamaño de las ordenes

Una vez identificados los efectos de la complejidad se realizó una lista con los métodos que se aplican o podrían ser aplicados para contrarrestarlos. Los métodos que aparecen en la tabla 3, en el caso de la compañía X no han sido aplicados en su mayoría, mientras que en el caso de las compañías Y y Z han sido aplicados solo de manera parcial en proyectos específicos y solo hasta que llegan a la fase de control, por lo que es común que los efectos reincidan. Se observa que las tres compañías comparten métodos comunes para abordar los problemas de complejidad.

Tabla 3. Métodos aplicados para gestionar la complejidad.

Métodos aplicables para contrarrestar la complejidad en la empresa considerando los efectos		
X	Y	Z
5´s, Benchmarking, FIFO, JIT, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, división de la producción y logísica, agilización del área de producción, trabajo grupal, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, Shojinka, ensamble para ordenes, Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, Planeación y control de la producción, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, aplicación de auto identificación, entrenamiento a empleados, producción de jalón, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, sistema interno de incentivos, integración de los empleados, Flujo de producción continua.	5´s, FIFO, JIT, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, agilización del área de producción, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, ensamble para ordenes, Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, aplicación de auto identificación, entrenamiento a empleados, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, Flujo de producción continua, administración de la cadena de suministros,	5´s, FIFO, Poka Yoke, Kanban, VSM, administración de proveedores, visualización, almacén de core desensamblado, registro multifuncional, agilización del área de producción, trabajo múltiple de máquinas, producción con intervalos constantes, ensamble para ordenes Kaizen, Matriz de entrenamiento del empleado, Heijunka, optimización del tamaño del lote, teoría de restricciones, SGAR, TPM, estandarización, entrenamiento a empleados, SMED, estudio de mercados, calidad del core orientado a la cadena de suministros, incentivos, empresa wiki, identificación automática del core, administración de las relaciones con los clientes, Jishu Hozen, MTM, administración del desempeño, Control Total de la Calidad, SPC, división del trabajo, Flujo de producción continua.

La tabla 4 enlista los factores encontrados que inciden en la variabilidad del proceso y por ende del producto, aportando complejidad. Considera los factores desde diferentes enfoques: de la administración del core, identificación del proceso-producto, área de planeación y control, y organización de la producción, considerando los factores de manera integral.

Tabla 4. Factores que crean complejidad en las compañías remanufactureras.

Factores conductores de la complejidad en la empresa X, Y e Z			
Administración del core	Identificación	Planeación y control	Organización de la producción
· # de empleados · # modelos o series, generaciones de productos · # modificaciones · # grupo de productos · # de proveedores · Disponibilidad de core · Disponibilidad de repuestos · Competencia · Calidad del core · Material · Tipos de core · Volumen del producto · Precio del mercado · Precio de compra · Tamaño, peso, forma · Área de almacenaje · Tiempos de entrega · Experiencia de los empleados · Innovación · Legislación	· # de partes por producto · # de pasos por proceso · Disponibilidad de la información · Cambios en técnicas y procedimientos · Requerimientos del cliente · Grado de contaminación · Grado de corrosión · Experiencia de los empleados · Innovación · Legislación · Cambios en el mercado · Información del producto · Desgaste mecánico · Calidad del core · Cambios tecnológicos · Tipo de marca de identificación	· # de asignación de recursos · # de clientes · # de sistemas de información · # de partes por producto · # de grupos de productos · # de procesos de producción · # de proveedores · # de instrucciones de trabajo · Lista de materiales · Disponibilidad del core · Disponibilidad de la información · Disponibilidad de partes de repuesto · Cambios en las técnicas y procedimientos · Competencia · Requerimientos del cliente · Tiempos de entrega · Disponibilidad de empleados · Legislación · Disponibilidad de la maquinaria · Cambios en el mercado · Tiempos de proceso · Calidad del core · Demanda del mercado · Tamaño de la compañía · Rango vertical de manufactura	· # de clientes · # de empleados · # de máquinas · # de materiales diferentes · # de modelos o series, generaciones de productos · # de modificaciones · # de pasos en el proceso · # de grupos de producto · # de procesos de producción · # de proveedores · # de estaciones de trabajo · Capacidad · Cambios en técnicas y procedimientos · Innovación · Niveles de jerarquía · Administración · Número, tipo y secuencias de procesos · Tiempo de proceso · Desarrollo de productos · Espacio de producción · Demanda del mercado · Calidad del core · Tamaño, peso y forma · Cambios Tecnológicos

Finalmente, la tabla 5 ordena los factores de desempeño clave que debe considerar de manera particular cada compañía en su esfuerzo por gestionar la complejidad. Estos fueron determinados tomando en cuenta los factores y efectos de la complejidad encontrados en las tablas 2 y 4.

Aún y cuando se desarrolla el proceso de remanufactura en tres compañías diferentes se pueden encontrar contrastes al analizar sus características de forma individualizada. Quedan evidenciadas las diferencias y similitudes entre las compañías, objeto de estudio. El resultado final es un análisis que proporciona la oportunidad de establecer un sistema de gestión de la complejidad consistente basado en métodos e indicadores clave a la medida de los efectos de la complejidad que se producen en las empresas.



Tabla 5. Factores de desempeño para gestionar la complejidad.

Factores de desempeño clave para gestionar la complejidad en la empresa KPI (Key Perfomance Indicators)		
X	Y	Z
- Nivel de desempeño de la capacidad - Grado de utilización por unidad de transporte - Adaptación de habilidades por empleado y año - Esfuerzo en las instrucciones por pedido - Proporción de rechazos - Proporción de desperdicios - Costos de preparación de equipo - Participación de los costos en logística - Nivel de estandarización - Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año - Instrucciones de trabajo por empleado	- Cantidad de horas extras - Proporción de área utilizada - Adaptación de habilidades por empleado y año - Tiempos de entrega promedio por producto - Nivel de desempeño de la capacidad - Esfuerzos en el entrenamiento de empleados - Esfuerzo en las instrucciones por pedido - Tiempos de entrega - Registros multifuncionales - Proporción de entregas a tiempo - Tiempo de proceso de una orden - Areas de disposición de partes - Proporción de desperdicios - Costos de preparación de equipo - Tamaño de la fuerza de trabajo - Nivel de estandarización - Nivel de rendimiento - Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año - Instrucciones de trabajo por empleado	- Nivel de desempeño de la capacidad - Adaptación de habilidades por empleado y año - Esfuerzo en las instrucciones por pedido - Tiempos de entrega - Proporción de entregas a tiempo - Tiempo de proceso de las ordenes - Tasa de pedidos urgentes en producción - Proporción de desperdicio - Nivel de estandarización - Esfuerzos en entrenamiento por empleado y año - Instrucciones de trabajo por empleado

CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología propuesta se lograron identificar los efectos de la complejidad en las compañías seleccionadas. Se identificaron los métodos que podrían servir, considerando la situación particular de cada compañía. As mismo, se logro el objetivo de identificar los factores que crean complejidad. Los resultados permiten hacer una selección de los factores relevantes de complejidad que intervienen y que pueden ser controlados por tomadores de decisiones, administradores y directivos para mejorar los indicadores de desempeño en el sector industrial remanufacturero. Se identificaron los indicadores de desempeño existentes según el tipo de compañía, los cuales no habían sido considerados como clave, normalmente las compañías utilizan como máximo cuatro factores y los proyectos de mejora se enfocan en estos, por lo que al identificar otros indicadores de desempeño se puede dar atención a nuevas áreas de oportunidad.

Este trabajo presentó un enfoque que no había sido considerado antes por las empresas de remanufactura del norte del país para manejar los efectos inducidos por la complejidad en el proceso, proporcionando métodos de optimización emergentes adaptados y desarrollados recientemente. Sin embargo, al aplicar el método alemán de la Universidad de Bayreuth, se concluye que el análisis no tiene en cuenta las interacciones causales e interdependencias entre los conductores de complejidad, o los efectos detectados. Este es un tema de interés que puede ser considerado en futuras investigaciones. Además, sería interesante analizar los costos de la complejidad en la remanufactura para que los conductores de complejidad y sus efectos sean monetariamente evaluables.

BIBLIOGRAFÍA

1) Garbie, I.H., Shikdar, A. (2011). Analysis and estimation of complexity level in industrial firms. Int. J. of Industrial and System Engineering. 8(3):1-23.
2) Schey, V., Roesgen, R. (2012). Mastering Complexity. Camelot Management Consultants AG, November.
3) *Haumann, M., Westermann, H.H., Seifert, S. Butzer, S. (2012). Managing complexity–A methodology, exemplified by the industrial sector of remanufacturin".* Proceedings of the[h] Fifth International Swedish Production Symposium, Linköping, October 2012.
4) Seifert, S., Butzer, S., Westermann, H.H., Steinhilper, R. (2013). *Managing complexity in Remanufacturing*. Proceedings of the 2013 World Congress on Engineering, London, U.K.
5) Ijomah, W.A. (2002). Model-Based definition of the generic remanufacturing business process. Tesis doctoral, The University of Plymouth.
6) Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity " Proceedings of the American philosophical society. 106(6) 467-482.
7) Bick, W., Drexl-Wittbecker, S. (2008). Komplexität reduzieren - Konzept. Methoden. Praxis. LOG_X Verlag GmbH, Stuttgart.
8) Lundmark, P., Sundin, E., Björkman, M. (2009): Industrial Challenges within the Remanufacturing System. Proceedings of Swedish Production Symposium, Stockholm, Sweden, pp. 132-138.





"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

UNIDAD REGIONAL CENTRO

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS EN MATEMÁTICAS

Objetivos del Programa

Formar personal con alto nivel académico, para el estudio autónomo y comprensión de los resultados y avances de la matemática moderna y sus aplicaciones, con capacidad para realizar labores de asesoría y apoyo matemático en proyectos de investigación y desarrollo en disciplinas de carácter científico y tecnológico. A nivel de doctorado, además de los anteriores, el objetivo principal es capacitar para la realización de investigación original e independiente en el campo de las matemáticas y sus aplicaciones.

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN MATEMÁTICA EDUCATIVA

Objetivos del Programa

El propósito de este programa académico es formar Especialistas en Matemática Educativa, cuya práctica profesional como docentes sintetice una serie de competencias éticas, ideológicas, de conocimiento teórico y sentido práctico, para atender los problemas de la educación matemática escolar en los ámbitos de la investigación, el desarrollo docente y la proyección social de sus egresados.

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FÍSICA

Objetivos del Programa

Preparar personal con un profundo conocimiento de las leyes fundamentales de la Física, para ejercer labores docentes a nivel licenciatura, posgrado y especialidad. Capacitar personal para ejercer actividades asociadas a la generación de conocimiento en diferentes áreas de la Física. Formar personal con una alta capacidad de trabajo e innovación lo cual le permita incidir sobre la solución de aquellos problemas de su competencia relacionados con el sector productivo de la región y del país. Capacitar personal en la utilización eficiente de diverso equipo con un alto desarrollo científico y tecnológico. Desarrollar programas multidisciplinarios de investigación científica y tecnológica.

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLOGÍA

Objetivos del Programa

El objetivo general es el de formar Maestros en Ciencias de alto nivel de calidad y excelencia, capaces de participar en el análisis y solución de problemas geológicos tradicionales y de frontera, utilizando el método científico, y respondiendo con oportunidad a las necesidades del desarrollo científico y tecnológico del país. Se ofrece un espacio de formación de alto nivel académico en torno a la problemática derivada de tres grandes áreas de aplicación de las Ciencias de la Tierra como son: los yacimientos minerales, la geología regional, y la hidrogeología-geología ambiental. Con ello se pretende contribuir al fortalecimiento de la capacidad profesional y/o investigativa de los profesionales que se desempeñan en estas áreas del conocimiento.



http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm

DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Rosales y Blvd. Luis Encinas, Edificio 3K-1 Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-53 y 259-21-54



"El saber de mis hijos hará mi grandeza"

Universidad de Sonora

UNIDAD REGIONAL CENTRO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Posgrados incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA SALUD ESPECIALIZACIÓN EN INMUNOHEMATOLOGÍA DIAGNÓSTICA

Objetivo General

Formar recursos humanos con capacidad para prestar servicios de diagnóstico hematológico e inmunológico, capaces de proponer alternativas para la investigación de problemas de diagnóstico así como para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de información científica.

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

Objetivo General

Formar recursos humanos con capacidad para realizar investigaciones de alto nivel en el campo de la salud y para transmitir sus conocimientos mediante actividades docentes y de difusión de resultados, con el interés de que su formación tenga un impacto decisivo en el perfil epidemiológico poblacional.

DOCTORADO EN CIENCIAS (QUÍMICO BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD)

Objetivo General

Formar personal altamente calificado en las áreas de química, biología y ciencias de la salud, con una visión interdisciplinaria, que contribuya a solventar la problemática de salud.

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

Objetivo General

Formación de personal calificado y competente de alto nivel que sea capaz de resolver problemas alimentarios en los sectores de investigación, educación, de los sectores público y privado, vinculados con el manejo, almacenamiento, conservación y procesamiento de granos o productos marinos.

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS (CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE GRANOS; CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE PRODUCTOS MARINOS)

Objetivo General

Formación de personal de alto nivel académico que sea capaz de generar conocimiento, a través del planteamiento, diseño y desarrollo de proyectos de investigación relevantes al desarrollo de la ciencia de los alimentos y a la resolución de la problemática de la producción y procesamiento de alimentos

POSGRADO EN BIOCIENCIAS (MAESTRÍA)

Objetivo general

Formar recursos humanos con una visión amplia de su área de especialidad y con capacidad de identificar problemas y procesos básicos y aplicados en las diferentes disciplinas de las ciencias biológicas. Tendrá la capacidad de desarrollarse en áreas emergentes de las biociencias, combinando diferentes aproximaciones, conceptualizaciones y niveles jerárquicos de la biología y áreas de especialización del posgrado

POSGRADO EN BIOCIENCIAS (DOCTORADO)

Objetivo General

Formar investigadores de alto nivel con una amplia capacidad de realizar investigación independiente, la cual contribuya significativamente a la generación, innovación y adaptación de conocimientos científicos y/o tecnológicos en su área de especialización.

Posgrados no incluidos en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad de CONACYT

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS (No incluida en la padrón)

Objetivos Generales

1. Formar profesores investigadores con una alta preparación académica y capacidad innovadora, capaces de generar y transmitir el conocimiento científico; aptos para crear y desarrollar proyectos y programas de investigación científica y tecnológica, tendientes a mejorar la productividad agropecuaria nacional.

2.- Preparar personal altamente capacitado para ejercer labores docentes de licenciatura y posgrado en las Instituciones de Educación Superior dedicadas a la generación de conocimientos y tecnología en las áreas de fisiología vegetal, genética y mejoramiento de plantas, manejo de agostaderos, praderas irrigadas, producción de carne y leche, nutrición y reproducción animal.



http://www.investigacion.uson.mx/programas-posgrado.htm

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGOCAS Y DE LA SALUD

Rosales y Blvd. Luis Encinas., Edificio 10k, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000, Tel. (662) 259-21-62 y 259-22-59